

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

Розрахунково-графічна робота
“Розрахунок однофазного кола синусоїдного струму”
Варіант № 789

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 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, 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).

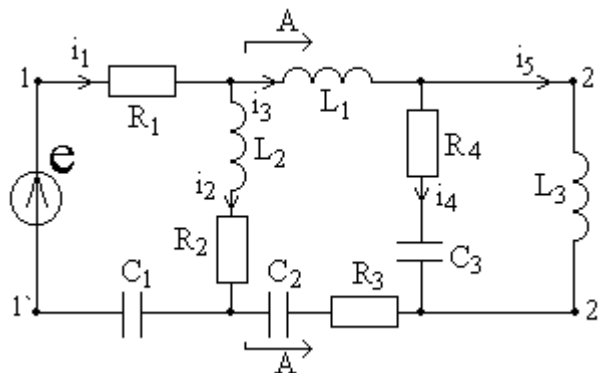
3. ВІДКИНУВШИ ВІТКУ МІЖ ЗАТИСКАЧАМИ 2-2", ВИКОНАТИ ЕКВІВАЛЕНТУВАННЯ ВЗАЄМОІНДУКТИВНИХ ЗВ'ЯЗКІВ ВІТОК. ОДЕРЖАНУ СХЕМУ РОЗГЛЯДАТИ ЯК ЧОТИРИПОЛЮСНИК З ЗАТИСКАЧАМИ 1-1" ТА 2-2" :

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

$$E := 220 \quad \psi := 50 \quad R_1 := 16 \quad R_2 := 14 \quad R_3 := 12 \quad R_4 := 10$$

$$X_{L1} := 60 \quad X_{L2} := 50 \quad X_{L3} := 43 \quad X_{C1} := 20 \quad X_{C2} := 15 \quad X_{C3} := 13 \quad X_M := 32 \quad f := 100$$

$$U := E \cdot e^{j \cdot \psi \cdot \frac{\pi}{180}} \quad U = 141.413 + 168.53i \quad F(U) = (220 \ 50)$$



Символічний метод

$$Z_1 := R_1 - X_{C1} \cdot i$$

$$Z_2 := R_2 + X_{L2} \cdot i$$

$$Z_3 := R_3 - X_{C2} \cdot i + X_{L1} \cdot i$$

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

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

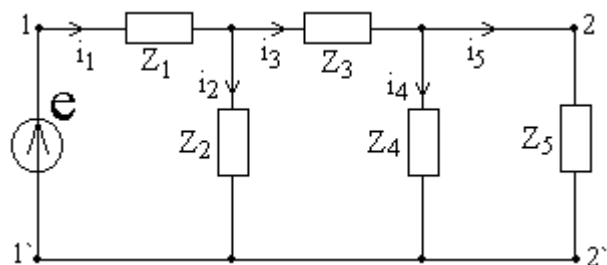
$$Z_1 = 16 - 20i$$

$$Z_2 = 14 + 50i$$

$$Z_3 = 12 + 45i$$

$$Z_4 = 10 - 13i$$

$$Z_5 = 43i$$



$$Z_{345} := \frac{Z_5 \cdot Z_4}{Z_5 + Z_4} + Z_3$$

$$Z_{345} = 30.49 + 32.53i$$

$$Z_E := \frac{Z_2 \cdot Z_{345}}{Z_2 + Z_{345}} + Z_1$$

$$Z_E = 28.517 + 1.283i$$

$$I_1 := \frac{U}{Z_E}$$

$$I_1 = 5.214 + 5.675i$$

$$F(I_1) = (7.707 \quad 47.423)$$

$$I_2 := I_1 \cdot \frac{Z_{345}}{Z_{345} + Z_2}$$

$$I_2 = 3.087 + 1.975i$$

$$F(I_2) = (3.665 \quad 32.605)$$

$$I_3 := I_1 - I_2$$

$$I_3 = 2.127 + 3.7i$$

$$F(I_3) = (4.268 \quad 60.109)$$

$$I_4 := I_3 \cdot \frac{Z_5}{Z_4 + Z_5}$$

$$I_4 = 1.153 + 5.688i$$

$$F(I_4) = (5.804 \quad 78.544)$$

$$I_5 := I_3 - I_4$$

$$I_5 = 0.974 - 1.988i$$

$$F(I_5) = (2.214 \quad -63.887)$$

Перевірка за першим законом Кіргофа:

$$I_1 - I_2 - I_3 = 0$$

$$I_3 - I_4 - I_5 = 0$$

$$I_2 + I_4 + I_5 - I_1 = 0$$

Баланс потужностей електричного кола :

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

$$S_r = 1.694 \times 10^3 + 76.229i$$

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

$$P = 1.694 \times 10^3$$

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

$$Q = 76.229i$$

Будуємо сумісну векторну діаграму струмів та топографічну діаграму напруг

Визначимо потенціали всіх точок позначених на схемі:

$$\phi_{1'} := 0$$

$$\phi_a := \phi_{1'} + I_1 \cdot (-X_{C1} \cdot i)$$

$$\phi_a = 113.503 - 104.287i$$

$$F(\phi_a) = (154.138 \quad -42.577)$$

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

$$\phi_b = 156.726 - 76.639i$$

$$F(\phi_b) = (174.46 \quad -26.059)$$

$$\phi_c := \phi_b + I_2 \cdot X_{L2} \cdot i$$

$$\phi_c = 57.984 + 77.727i$$

$$F(\phi_c) = (96.973 \quad 53.277)$$

$$\phi_1 := \phi_c + I_1 \cdot R_1$$

$$\phi_1 = 141.413 + 168.53i$$

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

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

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

$$\phi_d := \phi_1 + I_3 \cdot (-X_{C2} \cdot i)$$

$$\phi_d = 196.918 + 136.625i$$

$$F(\phi_d) = (239.673 \quad 34.754)$$

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

$$\phi_e = 222.442 + 181.029i$$

$$F(\phi_e) = (286.796 \quad 39.14)$$

$$\phi_k := \phi_e + I_4 \cdot (-X_{C3} \cdot i)$$

$$\phi_k = 296.386 + 166.043i$$

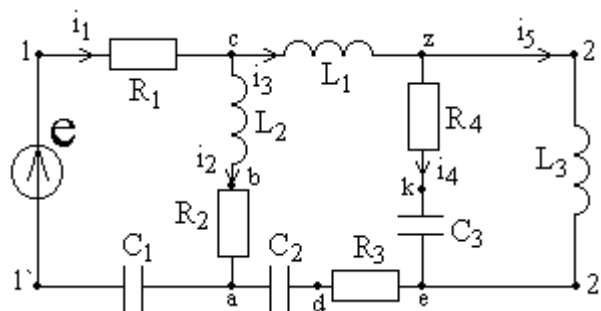
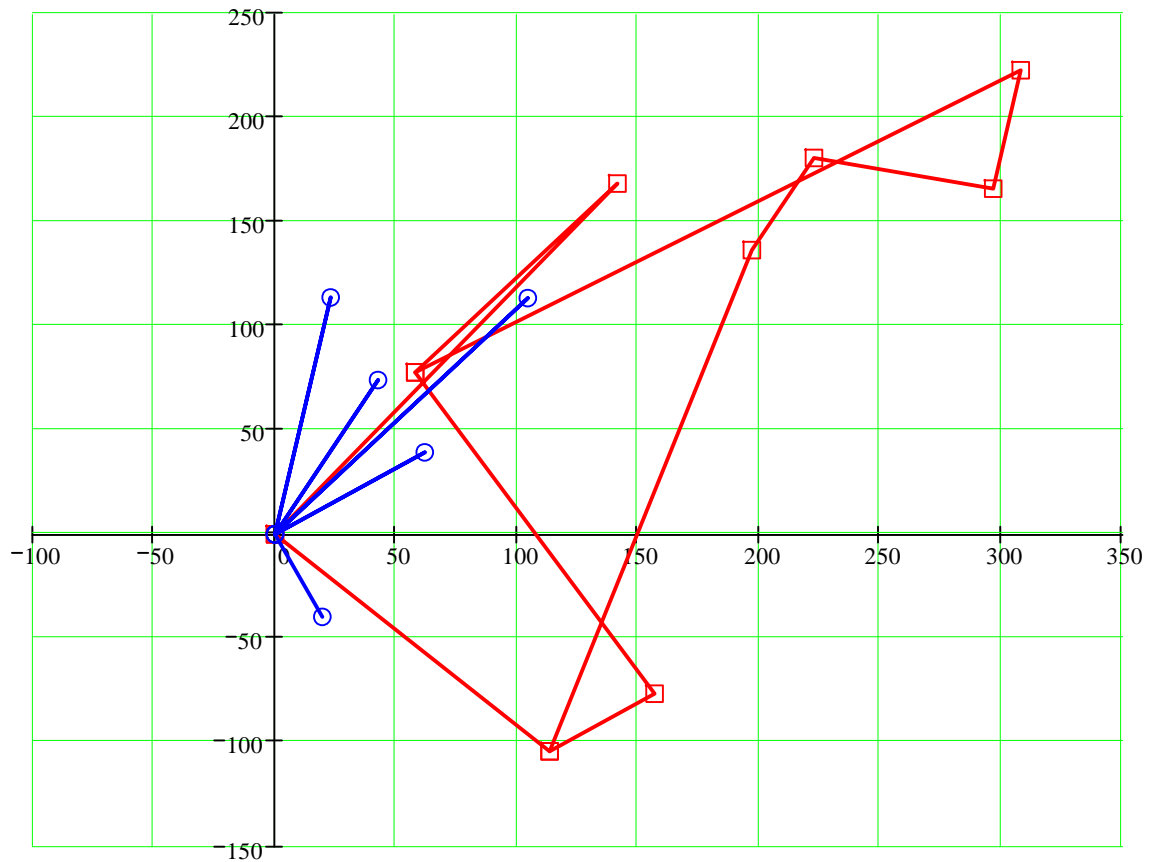
$$F(\phi_k) = (339.728 \quad 29.259)$$

$$\phi_z := \phi_k + I_4 \cdot R_4$$

$$\phi_z = 307.913 + 222.924i$$

$$F(\phi_z) = (380.139 \quad 35.904)$$

Суміщена векторна діаграма струмів і топографічна діаграма напруг:



Прийнявши активний опір R2 за нульовий і вважаючи реактивний опір цієї вітки невідомий, розрахувати його за умови резонансу струмів.

$$Z_3 := R_3 + X_{L1} \cdot i - X_{C2} \cdot i$$

$$Z_3 = 12 + 45i$$

$$Z_4 := R_3 - X_{C3} \cdot i$$

$$Z_4 = 12 - 13i$$

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

$$Z_5 = 43i$$

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

$$Z_E = 33.253 + 34.868i$$

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

$$R_E = 33.253$$

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

$$X_E = 34.868$$

Умова резонансу струмів на ділянці "ab" :

$$B_{ab} = B_2 + B_E \quad B_{ab} := 0 \quad B_2 = -B_E$$

$$B_2 := \frac{-X_E}{X_E^2 + R_E^2}$$

$$B_2 = -0.015$$

$$X_2 := \frac{1}{B_2}$$

$$X_2 = -66.581$$

Розрахувати струми для резонансного стану кола

$$\begin{aligned} Z_1 &:= R_1 - X_{C1} \cdot i & Z_1 &= 16 - 20i \\ Z_3 &:= R_3 + X_{L1} \cdot i - X_{C2} \cdot i & Z_3 &= 12 + 45i \\ Z_4 &:= R_4 - X_{C3} \cdot i & Z_4 &= 10 - 13i \\ Z_5 &:= X_{L3} \cdot i & Z_5 &= 43i \end{aligned}$$

$$Z_{345} := \frac{Z_4 \cdot Z_5}{Z_4 + Z_5} + Z_3 \quad Z_{345} = 30.49 + 32.53i$$

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

$$Z_{VX}(X_N) \left| \begin{array}{l} \text{complex} \\ \text{simplify} \end{array} \right. \rightarrow \frac{(1040960 \cdot X_N + 46490 \cdot X_N^2 + 31805456 + 686641 \cdot i \cdot X_N + 12530 \cdot i \cdot X_N^2 - 39756820 \cdot i)}{(1987841 + 65060 \cdot X_N + 1000 \cdot X_N^2)}$$

$$X_N := \text{Im}(Z_{VX}(X_N)) \left| \begin{array}{l} \text{complex} \\ \text{solve, } X_N \rightarrow \\ \text{float, 20} \end{array} \right. \left(\begin{array}{c} 35.239436490564827913 \\ -90.039197065185737729 \end{array} \right) \quad X_N := \begin{pmatrix} X_{N0} \\ X_{N1} \end{pmatrix}$$

Отже резонанс кола буде при таких активних опорах у другій вітці: $X_N = \begin{pmatrix} 35.239 \\ -90.039 \end{pmatrix}$

$$X_n := X_{N0} \quad X_n = 35.239 \quad Z_{VX}(X_n) = 22.856$$

$$I_1 := \frac{U}{Z_{VX}(X_n)} \quad I_1 = 6.187 + 7.373i \quad F(I_1) = (9.625 \quad 50)$$

$$I_2 := I_1 \cdot \frac{Z_{345}}{Z_{345} + i \cdot X_n} \quad I_2 = 4.946 + 2.981i \quad F(I_2) = (5.775 \quad 31.077)$$

$$I_3 := I_1 - I_2 \quad I_3 = 1.241 + 4.392i \quad F(I_3) = (4.564 \quad 74.223)$$

$$I_4 := I_3 \cdot \frac{Z_5}{Z_4 + Z_5} \quad I_4 = -0.288 + 6.2i \quad F(I_4) = (6.207 \quad 92.658)$$

$$I_5 := I_3 - I_4 \quad I_5 = 1.529 - 1.807i \quad F(I_5) = (2.367 \quad -49.773)$$

$$S_1 := U \cdot \overline{I_1} \quad S_1 = 2.118 \times 10^3$$

$$P := (|I_1|)^2 \cdot R_1 + (|I_3|)^2 \cdot R_3 + (|I_4|)^2 \cdot R_4 \quad P = 2.118 \times 10^3$$

$$Q := (|I_1|)^2 \cdot (-X_{C1}) + (|I_2|)^2 \cdot X_n + (|I_3|)^2 \cdot (X_{L1} - X_{C2}) + (|I_4|)^2 \cdot (-X_{C3}) + (|I_5|)^2 \cdot X_{L3} \quad Q = -6.537 \times 10^{-13}$$

При $X_n := X_{N1} \quad X_n = -90.039 \quad Z_{VX}(X_n) = 74.34$

$$I_1 := \frac{U}{Z_{VX}(X_n)} \quad I_1 = 1.902 + 2.267i \quad F(I_1) = (2.959 \quad 50)$$

$$I_2 := I_1 \cdot \frac{Z_{345}}{Z_{345} + i \cdot X_n} \quad I_2 = -1.891 + 0.729i \quad F(I_2) = (2.027 \quad 158.923)$$

$$I_3 := I_1 - I_2 \quad I_3 = 3.794 + 1.538i \quad F(I_3) = (4.094 \quad 22.069)$$

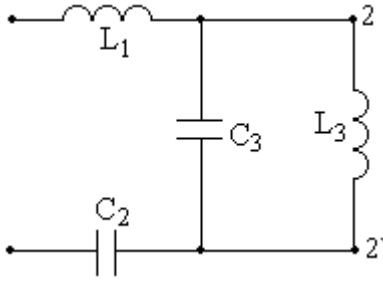
$$I_4 := I_3 \cdot \frac{Z_5}{Z_4 + Z_5} \quad I_4 = 4.232 + 3.615i \quad F(I_4) = (5.566 \quad 40.503)$$

$$I_5 := I_3 - I_4 \quad I_5 = -0.439 - 2.077i \quad F(I_5) = (2.123 \quad -101.928)$$

$$S_1 := U \cdot \overline{I_1} \quad S_1 = 651.061 \quad P := (|I_1|)^2 \cdot R_1 + (|I_3|)^2 \cdot R_3 + (|I_4|)^2 \cdot R_4 \quad P = 651.061$$

$$Q := (|I_1|)^2 \cdot (-X_{C1}) + (|I_2|)^2 \cdot X_n + (|I_3|)^2 \cdot (X_{L1} - X_{C2}) + (|I_4|)^2 \cdot (-X_{C3}) + (|I_5|)^2 \cdot X_{L3} \quad Q = -1.99 \times 10^{-13}$$

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



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

$$L_1 = 0.095$$

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

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

$$C_3 := \frac{1}{\omega \cdot X_{C3}}$$

$$C_3 = 1.224 \times 10^{-4}$$

$$L_3 := \frac{X_{L3}}{\omega}$$

$$L_3 = 0.068$$

$$Z(p) := \frac{p \cdot L_3 \cdot \frac{1}{p \cdot C_3}}{p \cdot L_3 - \frac{1}{p \cdot C_3}} + p \cdot L_1 - \frac{1}{p \cdot C_2}$$

Знаходимо нулі: $Z(p) = 0$

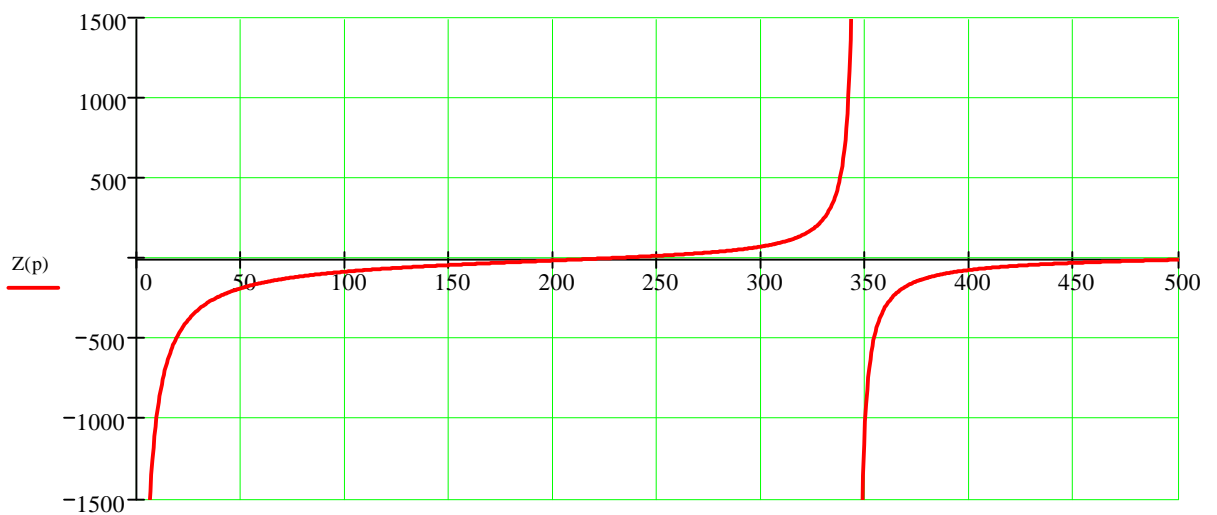
$$w_1 := Z(p) \left| \begin{array}{l} \text{solve, } p \\ \text{float, } 3 \end{array} \right. \rightarrow \begin{pmatrix} 507. \\ -507. \\ 214. \\ -214. \end{pmatrix}$$

$$w_1 := \begin{pmatrix} w_{10} \\ w_{12} \end{pmatrix} \quad w_1 = \begin{pmatrix} 507 \\ 214 \end{pmatrix}$$

Знаходимо полюси: $\frac{1}{Z(p)} = 0$

$$w := \frac{1}{Z(p)} \left| \begin{array}{l} \text{solve, } p \\ \text{float, } 10 \end{array} \right. \rightarrow \begin{pmatrix} 345.4755500 \\ -345.4755500 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$w := \begin{pmatrix} w_0 \\ w_2 \end{pmatrix} \quad w = \begin{pmatrix} 345.476 \\ 0 \end{pmatrix}$$



p

2. ПРИ НАЯВНОСТІ МАГНІТНОГО ЗВ'ЯЗКУ МІЖ ІНДУКТИВНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ L1 ТА L2 (ОДНОЙМЕННІ ПОЧАТКИ ПОЗНАЧЕНІ НА СХЕМІ ТОЧКАМИ):

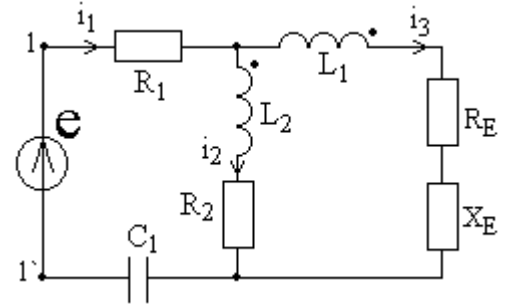
2.1. Перетворивши схему до двох незалежних контурів, розрахувати струми у всіх вітках схеми методом контурних струмів, визначити покази вольметра;

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

$$\begin{aligned} Z_3 &:= R_3 - X_{C2} \cdot i & Z_3 &= 12 - 15i \\ Z_4 &:= R_4 - X_{C3} \cdot i & Z_4 &= 10 - 13i \\ Z_5 &:= X_{L3} \cdot i & Z_5 &= 43i \\ Z_{345} &:= \frac{Z_5 \cdot Z_4}{Z_5 + Z_4} + Z_3 & Z_{345} &= 30.49 - 27.47i \end{aligned}$$



$$R_E := \operatorname{Re}(Z_{345}) \quad R_E = 30.49 \quad X_E := \operatorname{Im}(Z_{345}) \quad X_E = -27.47$$

Знайдемо контурні та міжконтурні опори схеми:

$$\begin{aligned} Z_{11} &:= R_1 + R_2 + X_{L2} \cdot i - X_{C1} \cdot i & Z_{11} &= 30 + 30i \\ Z_{22} &:= R_E + X_E \cdot i + X_{L1} \cdot i + X_{L2} \cdot i + R_2 + 2 \cdot X_M \cdot i & Z_{22} &= 44.49 + 146.53i \\ Z_{12} &:= R_2 + X_{L2} \cdot i + X_M \cdot i & Z_{21} &:= Z_{12} & Z_{12} &= 14 + 82i \\ U &= 141.413 + 168.53i & F(U) &= (220 \ 50) \end{aligned}$$

Given

$$\begin{aligned} I_1 \cdot (Z_{11}) - I_3 \cdot (Z_{12}) &= U \\ -I_1 \cdot (Z_{21}) + I_3 \cdot (Z_{22}) &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \begin{pmatrix} I_1 \\ I_3 \end{pmatrix} &:= \operatorname{Find}(I_1, I_3) & I_2 &:= I_1 - I_3 & I_1 &= 1.391 + 6.762i & F(I_1) &= (6.904 \ 78.378) \\ & & & & I_2 &= 1.102 + 3.023i & F(I_2) &= (3.217 \ 69.977) \\ & & & & I_3 &= 0.289 + 3.739i & F(I_3) &= (3.75 \ 85.579) \\ I_4 &:= I_3 \cdot \frac{Z_5}{Z_4 + Z_5} & I_4 &= -1.235 + 4.948i & F(I_4) &= (5.099 \ 104.013) \\ I_5 &:= I_3 - I_4 & I_5 &= 1.524 - 1.209i & F(I_5) &= (1.945 \ -38.418) \end{aligned}$$

Баланс потужностей електричного кола :

$$\begin{aligned} S_r &:= U \cdot \overline{I_1} & S_r &= 1.336 \times 10^3 - 721.848i \\ P_r &:= \operatorname{Re}(S_r) & P_r &= 1.336 \times 10^3 & Q_r &:= \operatorname{Im}(S_r) & Q_r &= -721.848 \\ S_{M1} &:= \overline{I_2} \cdot I_3 \cdot X_M \cdot i & S_{M1} &= -103.844 + 371.886i & F(S_{M1}) &= (386.112 \ 105.602) \\ S_{M2} &:= \overline{I_3} \cdot I_2 \cdot X_M \cdot i & S_{M2} &= 103.844 + 371.886i & F(S_{M2}) &= (386.112 \ 74.398) \\ S_{KC} &:= (|I_1|)^2 \cdot (R_1 - X_{C1} \cdot i) + (|I_2|)^2 \cdot (R_2 + X_{L2} \cdot i) + (|I_3|)^2 \cdot (X_{L1} \cdot i + R_E + X_E \cdot i) - (S_{M1} + S_{M2}) \\ S_{KC} &= 1.336 \times 10^3 - 721.848i \end{aligned}$$

Визначимо потенціали всіх точок позначених на схемі:

$$\phi_{1'} := 0$$

$$\phi_a := \phi_{1'} + I_1 \cdot (-X_{C1} \cdot i)$$

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

$$\phi_{c'} := \phi_b + I_2 \cdot X_{L2} \cdot i$$

$$\phi_c := \phi_{c'} - I_3 \cdot X_M \cdot i$$

$$\phi_1 := \phi_c + I_1 \cdot R_1$$

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

$$\phi_k := \phi_a + I_3 \cdot (X_E \cdot i)$$

$$\phi_m := \phi_k + I_3 \cdot R_E$$

$$\phi_{m'} := \phi_m - I_2 \cdot X_M \cdot i$$

$$\phi_c := \phi_{m'} + I_3 \cdot X_{L1} \cdot i$$

$$\phi_a = 135.24 - 27.815i$$

$$\phi_b = 150.663 + 14.507i$$

$$\phi_{c'} = -0.487 + 69.59i$$

$$\phi_c = 119.161 + 60.338i$$

$$\phi_1 = 141.413 + 168.53i$$

$$\phi_A = -1.137 \times 10^{-15} - 5.684i \times 10^{-14}$$

$$\phi_k = 237.95 - 35.757i$$

$$\phi_m = 246.765 + 78.245i$$

$$\phi_{m'} = 343.5 + 42.992i$$

$$\phi_c = 119.161 + 60.338i$$

$$F(\phi_a) = (138.07 \quad -11.622)$$

$$F(\phi_b) = (151.36 \quad 5.5)$$

$$F(\phi_{c'}) = (69.591 \quad 90.401)$$

$$F(\phi_c) = (133.567 \quad 26.856)$$

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

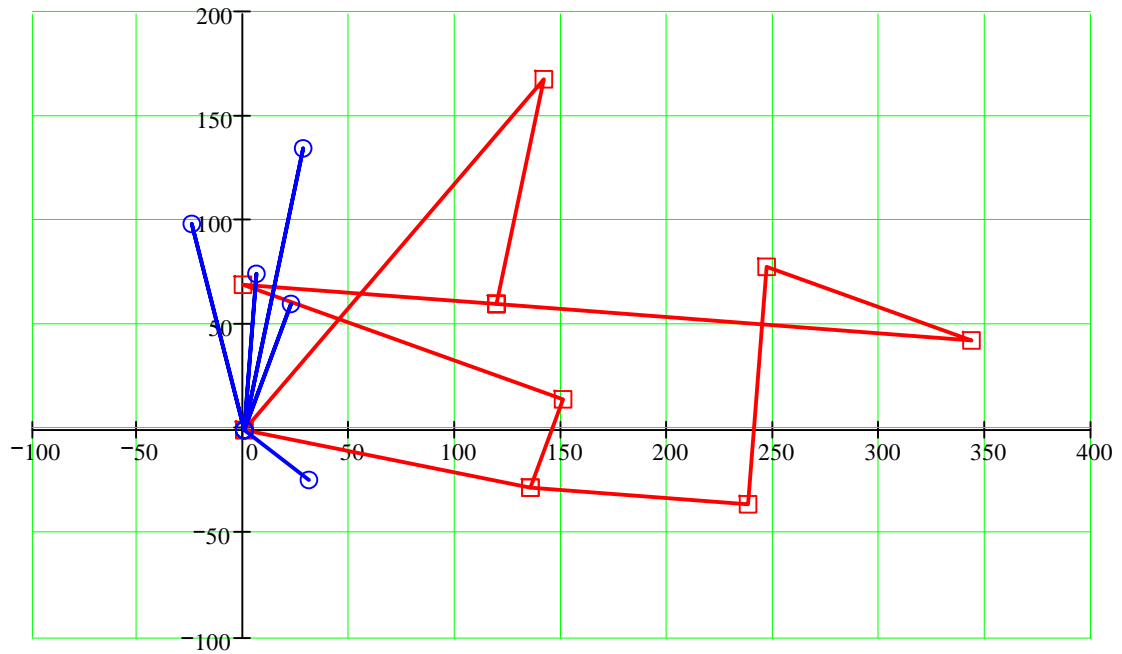
$$F(\phi_k) = (240.621 \quad -8.546)$$

$$F(\phi_m) = (258.873 \quad 17.593)$$

$$F(\phi_{m'}) = (346.18 \quad 7.134)$$

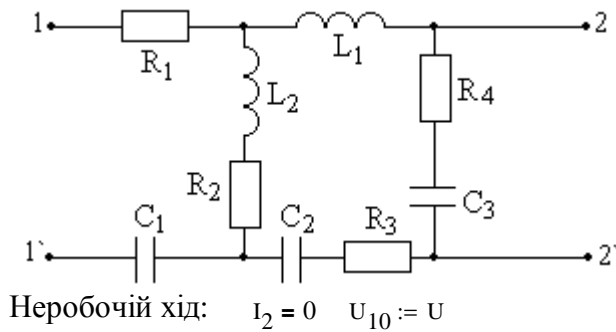
$$F(\phi_c) = (133.567 \quad 26.856)$$

Суміщена векторна діаграма струмів і топографічна діаграма напруг:



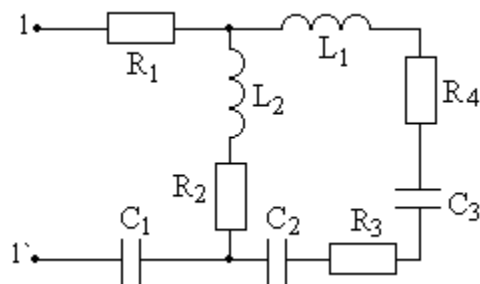
ВІДКИНУВШИ ВІТКУ МІЖ ЗАТИСКАЧАМИ 2-2", ВИКОНАТИ ЕКВІВАЛЕНТУВАННЯ
ВЗАЄМОІНДУКТИВНИХ ЗВ'ЯЗКІВ ВІТОК. ОДЕРЖАНУ СХЕМУ РОЗГЛЯДАТИ ЯК
ЧОТИРИПОЛЮСНИК З ЗАТИСКАЧАМИ 1-1" ТА 2-2" :

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



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

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



$$Z_1 := R_1 + j \cdot (X_M - X_{C1}) \quad Z_1 = 16 + 12i$$

$$Z_2 := R_2 + j \cdot (X_{L2} - X_M) \quad Z_2 = 14 + 18i$$

$$Z_3 := R_3 + R_4 - j \cdot (X_M + X_{C3} + X_{C2} - X_{L1}) \quad Z_3 = 22$$

$$Z_{10} := \frac{Z_2 \cdot Z_3}{Z_2 + Z_3} + Z_1 \quad Z_{10} = 27.244 + 17.378i$$

$$Z_{20} := \frac{Z_1 \cdot Z_2}{Z_1 + Z_2} + Z_3 \quad Z_{20} = 29.733 + 7.467i$$

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

$$I_{10} = 6.494 + 2.044i$$

$$F(I_{10}) = (6.808 \quad 17.468)$$

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

$$I_{30} = 2.82 + 2.632i$$

$$F(I_{30}) = (3.857 \quad 43.028)$$

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

$$U_{20} = 62.412 - 10.336i$$

$$F(U_{20}) = (63.262 \quad -9.403)$$

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

$$A = 1.77 + 2.993i$$

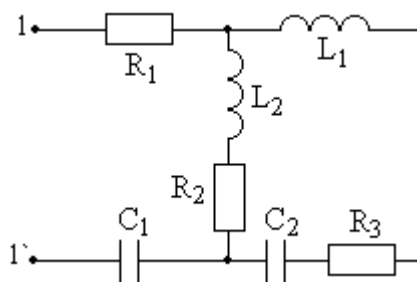
$$F(A) = (3.478 \quad 59.403)$$

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

$$C = 0.096 + 0.049i$$

$$F(C) = (0.108 \quad 26.871)$$

Коротке замикання: $U_2 = 0$ $U_K := U$



$$Z_1 := R_1 + j \cdot (X_M - X_{C1})$$

$$Z_1 = 16 + 12i$$

$$Z_2 := R_2 + j \cdot (X_{L2} - X_M)$$

$$Z_2 = 14 + 18i$$

$$Z_3 := R_3 - j \cdot (X_M + X_{C2} - X_{L1})$$

$$Z_3 = 12 + 13i$$

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

$$Z_K = 22.489 + 19.571i$$

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

$$I_{1K} = 7.289 + 1.15i$$

$$F(I_{1K}) = (7.38 \quad 8.968)$$

$$I_{2K} := I_{1K} \cdot \frac{Z_2}{Z_2 + Z_3}$$

$$I_{2K} = 4.082 + 0.799i$$

$$F(I_{2K}) = (4.159 \quad 11.08)$$

$$B := \frac{U}{I_{2K}}$$

$$B = 41.154 + 33.231i$$

$$F(B) = (52.895 \quad 38.92)$$

$$D := \frac{I_{1K}}{I_{2K}}$$

$$D = 1.773 - 0.065i$$

$$F(D) = (1.774 \quad -2.112)$$

Перевірка

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

Визначити ЕРС E та струм I_1 на вході чотириполосника, при яких на його виході $U_2 := 100$,
 $I_2 := 1$, $\phi_2 := 30$

$$U_2 := U_2 \cdot e^{j \cdot \phi_2 \cdot \frac{\pi}{180}}$$

$$F(U_2) = (100 \ 30)$$

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

$$U_1 = 44.777 + 380.973i$$

$$F(U_1) = (383.596 \ 83.297)$$

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

$$I_1 = 7.655 + 8.947i$$

$$F(I_1) = (11.775 \ 49.451)$$

Перевірка:

$$U_2 := \frac{U_1 - B \cdot I_2}{A}$$

$$F(U_2) = (100 \ 30)$$

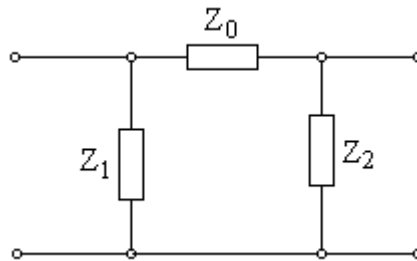
$$U_2 := \frac{I_1 - I_2 \cdot D}{C}$$

$$F(U_2) = (100 \ 30)$$

$$I_2 := \frac{U_1 - A \cdot U_2}{B}$$

$$F(I_2) = (1 \ -5.544 \times 10^{-15})$$

Розрахувати параметри віток схеми П заміщення;



$$Z_0 := B$$

$$Z_0 = 41.154 + 33.231i$$

$$F(Z_0) = (52.895 \ 38.92)$$

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

$$Y_1 = 0.011 - 0.01i$$

$$F(Y_1) = (0.015 \ -43.754)$$

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

$$Y_2 = 0.047 + 0.035i$$

$$F(Y_2) = (0.058 \ 36.653)$$

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

$$R_0 = 41.154$$

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

$$X_{L0} = 33.231$$

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

$$Z_1 = 49.246 + 47.15i$$

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

$$R_1 = 49.246$$

$$X_{L1} := \operatorname{Im}(Z_1)$$

$$X_{L1} = 47.15$$

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

$$Z_2 = 13.729 - 10.216i$$

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

$$R_2 = 13.729$$

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

$$X_{C2} = 10.216$$

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

$$L_1 = 0.075$$

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

$$C_2 = 1.558 \times 10^{-4}$$

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

$$L_0 = 0.053$$