

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

Розрахунково-графічна робота
“Розрахунок однофазного кола синусоїдного струму”
Варіант № 169

Виконав: _____

Перевірив: _____

Київ 2006

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" :

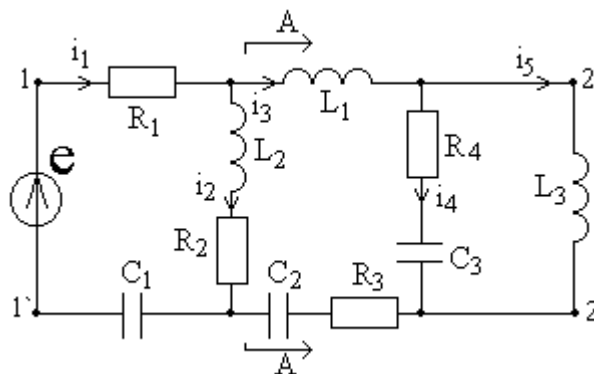
- 3.1. Розрахувати коефіцієнти A, B, C, D чотиріполюсника;
- 3.2. Розрахувати параметри R, L, C віток схеми заміщення.

$$E := 100 \quad \psi := -20 \quad R_1 := 5 \quad R_2 := 7 \quad R_3 := 9 \quad R_4 := 12 \quad X_{L1} := 40 \quad X_{L2} := 35 \quad X_{L3} := 25 \\ X_{C1} := 15 \quad X_{C2} := 10 \quad X_{C3} := 8 \quad X_M := 20 \quad f := 50$$

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

$$U = 93.969 - 34.202i$$

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



Символічний метод

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

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

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

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

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

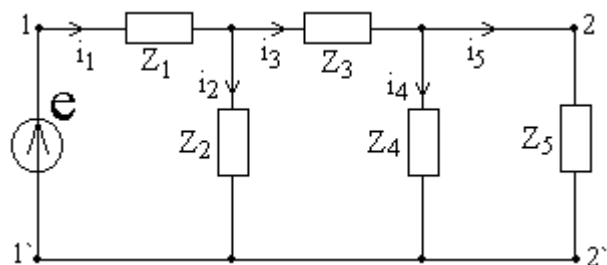
$$Z_1 = 5 - 15i$$

$$Z_2 = 7 + 35i$$

$$Z_3 = 9 + 30i$$

$$Z_4 = 12 - 8i$$

$$Z_5 = 25i$$



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

$$Z_{345} = 26.321 + 30.462i$$

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

$$Z_E = 13.318 + 2.706i$$

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

$$I_1 = 6.275 - 3.843i$$

$$F(I_1) = (7.358 \quad -31.486)$$

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

$$I_2 = 2.835 - 2.869i$$

$$F(I_2) = (4.033 \quad -45.338)$$

$$I_3 := I_1 - I_2$$

$$I_3 = 3.44 - 0.975i$$

$$F(I_3) = (3.576 \quad -15.819)$$

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

$$I_4 = 4.052 + 1.427i$$

$$F(I_4) = (4.296 \quad 19.399)$$

$$I_5 := I_3 - I_4$$

$$I_5 = -0.612 - 2.402i$$

$$F(I_5) = (2.478 \quad -104.291)$$

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 :

$$S_r := U \cdot I_1$$

$$S_r = 721.113 + 146.524i$$

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

$$P = 721.113$$

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

$$Q = 146.524i$$

Будуємо сумісну векторну діаграму струмів та топографічну діаграму напруг

Визначимо потенціали всіх точок позначених на схемі:

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

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

$$\phi_a = -57.648 - 94.127i$$

$$F(\phi_a) = (110.377 \quad -121.486)$$

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

$$\phi_b = -37.804 - 114.206i$$

$$F(\phi_b) = (120.301 \quad -108.316)$$

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

$$\phi_c = 62.594 - 14.986i$$

$$F(\phi_c) = (64.363 \quad -13.464)$$

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

$$\phi_1 = 93.969 - 34.202i$$

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

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

$$\phi_A = -2.132i \times 10^{-14}$$

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

$$\phi_d = 84.222 - 68.604i$$

$$F(\phi_d) = (108.627 \quad -39.165)$$

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

$$\phi_e = 115.184 - 77.377i$$

$$F(\phi_e) = (138.761 \quad -33.892)$$

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

$$\phi_k = 126.599 - 109.793i$$

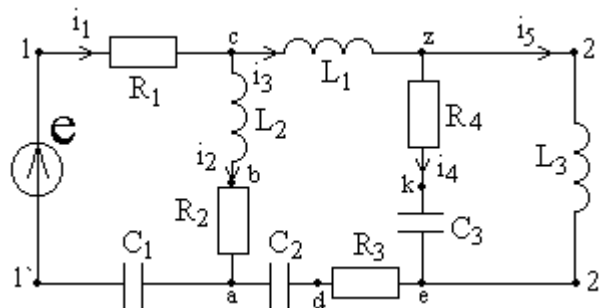
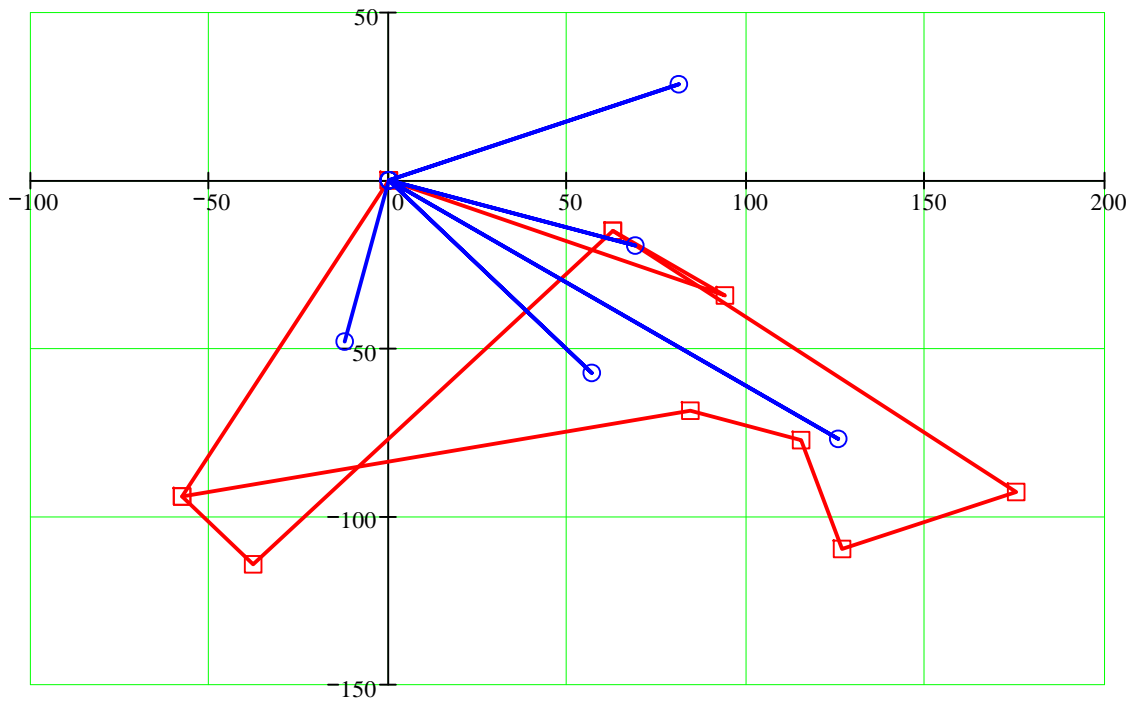
$$F(\phi_k) = (167.576 \quad -40.933)$$

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

$$\phi_z = 175.223 - 92.671i$$

$$F(\phi_z) = (198.219 \quad -27.873)$$

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.

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

$$Z_3 = 9 + 30i$$

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

$$Z_4 = 9 - 8i$$

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

$$Z_5 = 25i$$

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

$$Z_E = 24.203 + 26.284i$$

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

$$R_E = 24.203$$

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

$$X_E = 26.284$$

Умова резонансу струмів на ділянці "ab" :

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

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

$$B_2 = -0.021$$

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

$$X_2 = -48.57$$

Розрахувати струми для резонансного стану кола

$$Z_1 := R_1 - X_{C1} \cdot i \quad Z_1 = 5 - 15i$$

$$Z_3 := R_3 + X_{L1} \cdot i - X_{C2} \cdot i \quad Z_3 = 9 + 30i$$

$$Z_4 := R_4 - X_{C3} \cdot i \quad Z_4 = 12 - 8i$$

$$Z_5 := X_{L3} \cdot i \quad Z_5 = 25i$$

$$Z_{345} := \frac{Z_4 \cdot Z_5}{Z_4 + Z_5} + Z_3 \quad Z_{345} = 26.321 + 30.462i$$

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

$$Z_{VX}(X_N) \left| \begin{array}{l} \text{complex} \\ \text{simplify} \end{array} \right. \rightarrow \frac{(131900 \cdot X_N + 13562 \cdot X_N^2 + 3508865 + 306073 \cdot i \cdot X_N + 6695 \cdot i \cdot X_N^2 - 10526595 \cdot i)}{(701773 + 26380 \cdot X_N + 433 \cdot X_N^2)}$$

$$X_N := \text{Im}(Z_{VX}(X_N)) \left| \begin{array}{l} \text{complex} \\ \text{solve, } X_N \rightarrow \\ \text{float, 20} \end{array} \right. \left(\begin{array}{c} 22.910767962541992770 \\ -68.627422182108833696 \end{array} \right) \quad X_N := \begin{pmatrix} X_{N0} \\ X_{N1} \end{pmatrix}$$

$$\text{Отже резонанс кола буде при таких реактивних опорах у другій вітці: } X_N = \begin{pmatrix} 22.911 \\ -68.627 \end{pmatrix}$$

$$X_n := X_{N0} \quad X_n = 22.911$$

$$Z_{VX}(X_n) = 8.901$$

$$I_1 := \frac{U}{Z_{VX}(X_n)}$$

$$I_1 = 10.557 - 3.842i$$

$$F(I_1) = (11.234 \quad -20)$$

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

$$I_2 = 6.257 - 4.313i$$

$$F(I_2) = (7.6 \quad -34.579)$$

$$I_3 := I_1 - I_2$$

$$I_3 = 4.299 + 0.471i$$

$$F(I_3) = (4.325 \quad 6.25)$$

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

$$I_4 = 3.894 + 3.441i$$

$$F(I_4) = (5.196 \quad 41.468)$$

$$I_5 := I_3 - I_4$$

$$I_5 = 0.406 - 2.97i$$

$$F(I_5) = (2.998 \quad -82.222)$$

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

$$S_1 = 1.123 \times 10^3$$

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

$$P = 1.123 \times 10^3$$

$$Q := (|I_1|)^2 \cdot (-X_{C1}) + (|I_2|)^2 \cdot X_n + (|I_3|)^2 \cdot (X_{L1} - X_{C2}) + (|I_4|)^2 \cdot (-X_{C3}) + (|I_5|)^2 \cdot X_{L3} \quad Q = -2.842 \times 10^{-14}$$

$$\text{При } X_n := X_{N1} \quad X_n = -68.627 \quad Z_{VX}(X_n) = 62.674$$

$$I_1 := \frac{U}{Z_{VX}(X_n)}$$

$$I_1 = 1.499 - 0.546i$$

$$F(I_1) = (1.596 \quad -20)$$

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

$$I_2 = 0.131 + 1.379i$$

$$F(I_2) = (1.386 \quad 84.579)$$

$$I_3 := I_1 - I_2$$

$$I_3 = 1.368 - 1.925i$$

$$F(I_3) = (2.362 \quad -54.592)$$

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

$$I_4 = 2.677 - 0.941i$$

$$F(I_4) = (2.838 \quad -19.375)$$

$$I_5 := I_3 - I_4$$

$$I_5 = -1.308 - 0.984i$$

$$F(I_5) = (1.637 \quad -143.065)$$

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

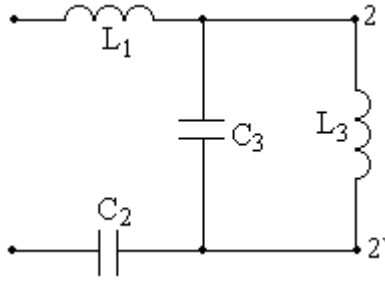
$$S_1 = 159.556$$

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

$$P = 159.556$$

$$Q := (|I_1|)^2 \cdot (-X_{C1}) + (|I_2|)^2 \cdot X_n + (|I_3|)^2 \cdot (X_{L1} - X_{C2}) + (|I_4|)^2 \cdot (-X_{C3}) + (|I_5|)^2 \cdot X_{L3} \quad Q = -4.263 \times 10^{-14}$$

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



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

$$L_1 = 0.127$$

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

$$C_2 = 3.183 \times 10^{-4}$$

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

$$C_3 = 3.979 \times 10^{-4}$$

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

$$L_3 = 0.08$$

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

Знаходимо нулі: $Z(p) = 0$

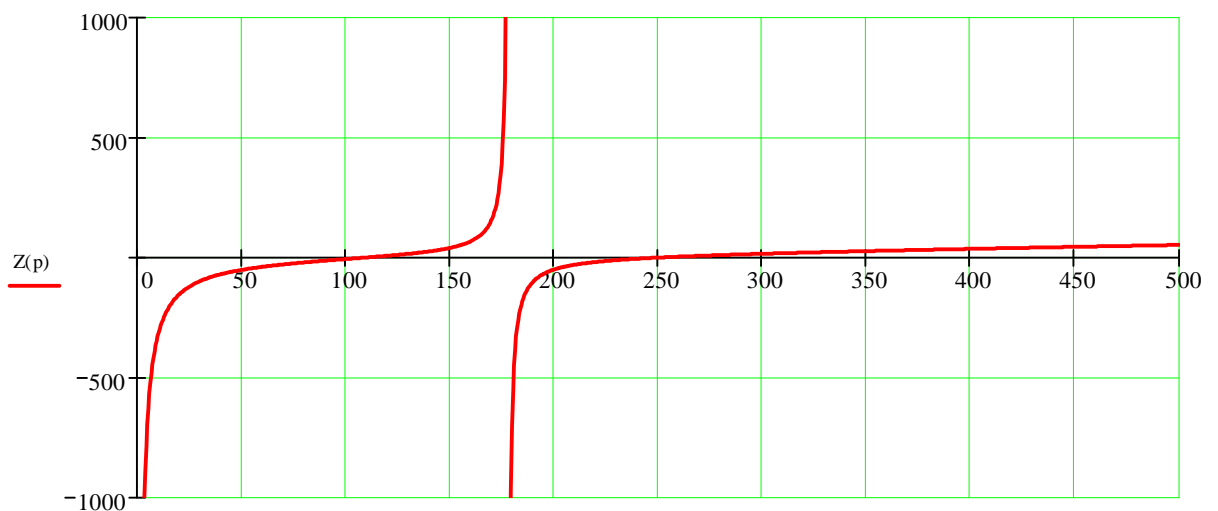
$$w_1 := Z(p) \left| \begin{array}{l} \text{solve, } p \\ \text{float, } 3 \end{array} \right. \rightarrow \begin{pmatrix} 253. \\ -253. \\ 111. \\ -111. \end{pmatrix}$$

$$w_1 := \begin{pmatrix} w_{10} \\ w_{12} \end{pmatrix} \quad w_1 = \begin{pmatrix} 253 \\ 111 \end{pmatrix}$$

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

$$w := \frac{1}{Z(p)} \left| \begin{array}{l} \text{solve, } p \\ \text{float, } 10 \end{array} \right. \rightarrow \begin{pmatrix} 177.7153175 \\ -177.7153175 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$w := \begin{pmatrix} w_0 \\ w_2 \end{pmatrix} \quad w = \begin{pmatrix} 177.715 \\ 0 \end{pmatrix}$$



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

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

$$Z_3 = 9 - 10i$$

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

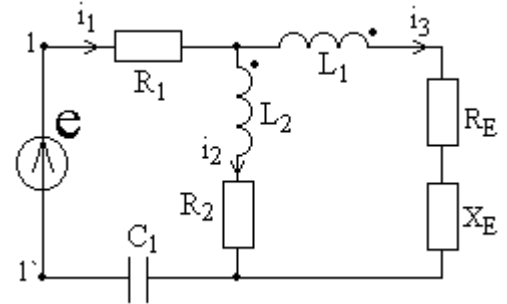
$$Z_4 = 12 - 8i$$

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

$$Z_5 = 25i$$

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

$$Z_{345} = 26.321 - 9.538i$$



$$R_E := \text{Re}(Z_{345})$$

$$R_E = 26.321$$

$$X_E := \text{Im}(Z_{345})$$

$$X_E = -9.538$$

Знайдемо контурні та міжконтурні опори схеми:

$$Z_{11} := R_1 + R_2 + X_{L2} \cdot i - X_{C1} \cdot i$$

$$Z_{11} = 12 + 20i$$

$$Z_{22} := R_E + X_E \cdot i + X_{L1} \cdot i + X_{L2} \cdot i + R_2 + 2 \cdot X_M \cdot i$$

$$Z_{22} = 33.321 + 105.462i$$

$$Z_{12} := R_2 + X_{L2} \cdot i + X_M \cdot i$$

$$Z_{21} := Z_{12}$$

$$Z_{12} = 7 + 55i$$

$$U = 93.969 - 34.202i$$

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

Given

$$I_1 \cdot (Z_{11}) - I_3 \cdot (Z_{12}) = U$$

$$-I_1 \cdot (Z_{21}) + I_3 \cdot (Z_{22}) = 0$$

$$\begin{pmatrix} I_1 \\ I_3 \end{pmatrix} := \text{Find}(I_1, I_3)$$

$$I_2 := I_1 - I_3$$

$$I_1 = 6.338 + 1.11i$$

$$F(I_1) = (6.435 \quad 9.933)$$

$$I_2 = 3.311 - 4.576i \times 10^{-3}$$

$$F(I_2) = (3.311 \quad -0.079)$$

$$I_3 = 3.027 + 1.115i$$

$$F(I_3) = (3.226 \quad 20.214)$$

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

$$I_4 = 2.199 + 3.191i$$

$$F(I_4) = (3.875 \quad 55.432)$$

$$I_5 := I_3 - I_4$$

$$I_5 = 0.828 - 2.077i$$

$$F(I_5) = (2.236 \quad -68.258)$$

Баланс потужностей електричного кола :

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

$$S_r = 557.622 - 321.079i$$

$$P_r := \text{Re}(S_r)$$

$$P_r = 557.622$$

$$Q_r := \text{Im}(S_r)$$

$$Q_r = -321.079$$

$$S_{M1} := \overline{I_2} \cdot I_3 \cdot X_M \cdot i$$

$$S_{M1} = -74.086 + 200.351i$$

$$F(S_{M1}) = (213.61 \quad 110.293)$$

$$S_{M2} := \overline{I_3} \cdot I_2 \cdot X_M \cdot i$$

$$S_{M2} = 74.086 + 200.351i$$

$$F(S_{M2}) = (213.61 \quad 69.707)$$

$$S_{KC} := (|I_1|)^2 \cdot (R_1 - X_{C1} \cdot i) + (|I_2|)^2 \cdot (R_2 + X_{L2} \cdot i) + (|I_3|)^2 \cdot (X_{L1} \cdot i + R_E + X_E \cdot i) - (S_{M1} + S_{M2})$$

$$S_{KC} = 557.622 - 321.079i$$

Визначимо потенціали всіх точок позначених на схемі:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$\phi_a = 16.65 - 95.071i$$

$$\phi_b = 39.828 - 95.103i$$

$$\phi_{c'} = 39.988 + 20.787i$$

$$\phi_c = 62.279 - 39.752i$$

$$\phi_1 = 93.969 - 34.202i$$

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

$$\phi_k = 27.28 - 123.943i$$

$$\phi_m = 106.952 - 94.606i$$

$$\phi_{m'} = 106.861 - 160.829i$$

$$\phi_c = 62.279 - 39.752i$$

$$F(\phi_a) = (96.518 \quad -80.067)$$

$$F(\phi_b) = (103.106 \quad -67.277)$$

$$F(\phi_{c'}) = (45.068 \quad 27.467)$$

$$F(\phi_c) = (73.884 \quad -32.55)$$

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

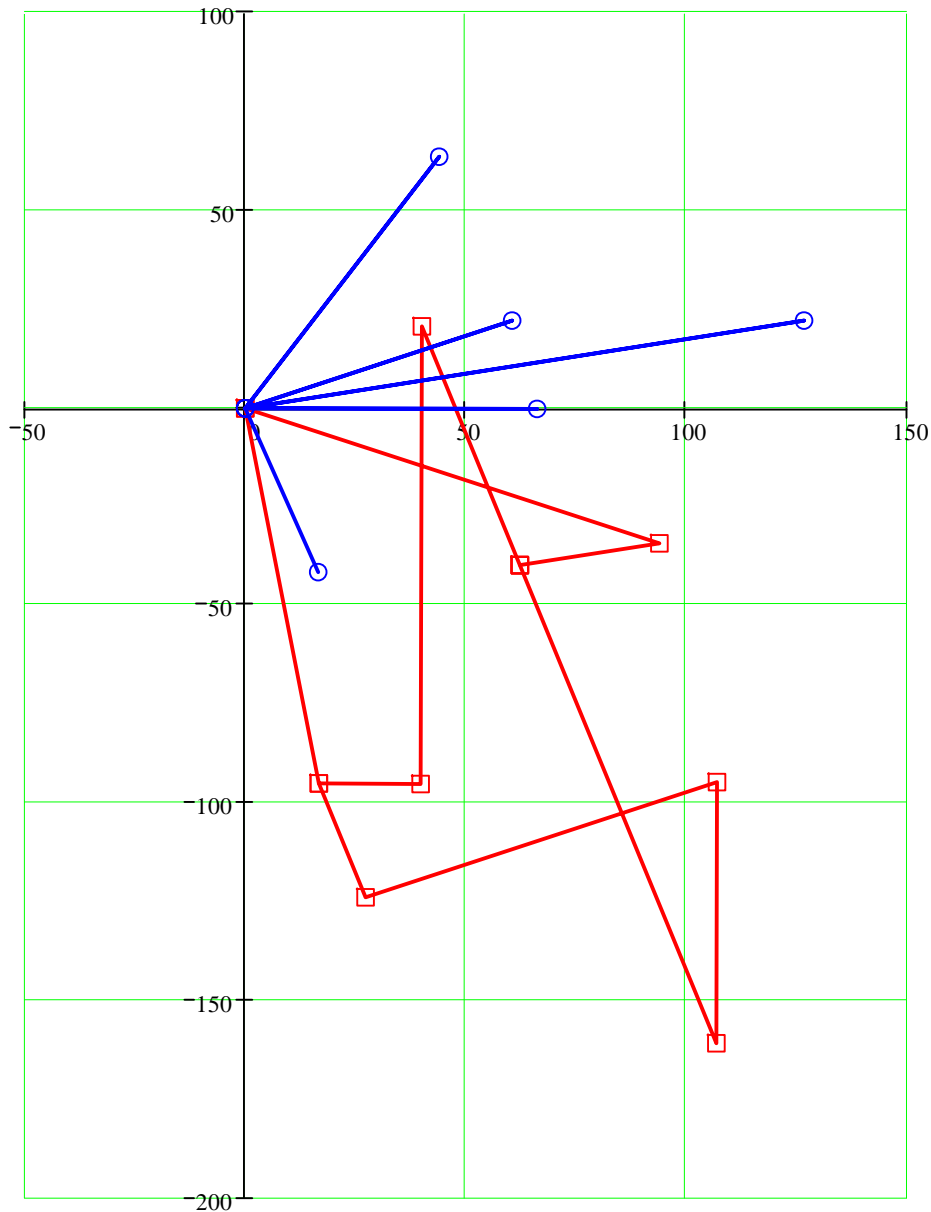
$$F(\phi_k) = (126.909 \quad -77.587)$$

$$F(\phi_m) = (142.791 \quad -41.495)$$

$$F(\phi_{m'}) = (193.094 \quad -56.398)$$

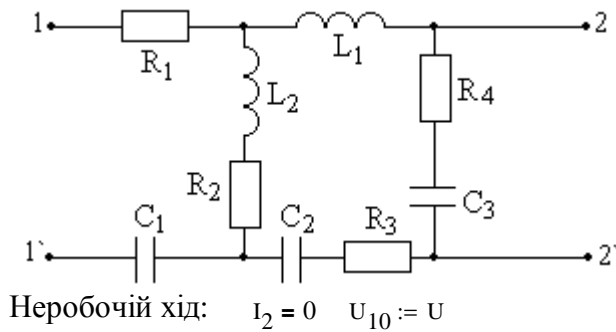
$$F(\phi_c) = (73.884 \quad -32.55)$$

Суміщена векторна діаграма струмів і топографічна діаграма напруг:



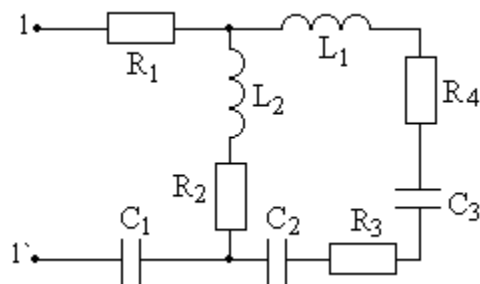
ВІДКИНУВШИ ВІТКУ МІЖ ЗАТИСКАЧАМИ 2-2", ВИКОНАТИ ЕКВІВАЛЕНТУВАННЯ
ВЗАЄМОІНДУКТИВНИХ ЗВ'ЯЗКІВ ВІТОК. ОДЕРЖАНУ СХЕМУ РОЗГЛЯДАТИ ЯК
ЧОТИРИПОЛЮСНИК З ЗАТИСКАЧАМИ 1-1" ТА 2-2" :

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



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

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



$$Z_1 := R_1 + j \cdot (X_M - X_{C1}) \quad Z_1 = 5 + 5i$$

$$Z_2 := R_2 + j \cdot (X_{L2} - X_M) \quad Z_2 = 7 + 15i$$

$$Z_3 := R_3 + R_4 - j \cdot (X_M + X_{C3} + X_{C2} - X_{L1}) \quad Z_3 = 21 + 2i$$

$$Z_{10} := \frac{Z_2 \cdot Z_3}{Z_2 + Z_3} + Z_1 \quad Z_{10} = 13.266 + 11.732i$$

$$Z_{20} := \frac{Z_1 \cdot Z_2}{Z_1 + Z_2} + Z_3 \quad Z_{20} = 24.162 + 5.897i$$

$$I_{10} := \frac{U_{10}}{Z_{10}} \quad I_{10} = 2.695 - 4.962i \quad F(I_{10}) = (5.647 \quad -61.488)$$

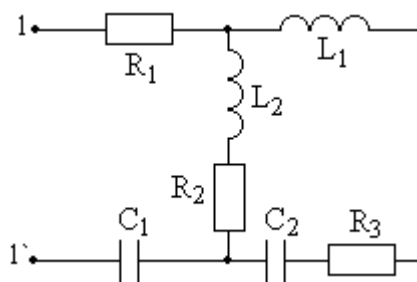
$$I_{30} := I_{10} \cdot \frac{Z_2}{Z_2 + Z_3} \quad I_{30} = 2.525 - 1.329i \quad F(I_{30}) = (2.854 \quad -27.769)$$

$$U_{20} := I_{30} \cdot (R_4 - X_{C3} \cdot i) \quad U_{20} = 19.663 - 36.153i \quad F(U_{20}) = (41.154 \quad -61.459)$$

$$A := \frac{U}{U_{20}} \quad A = 1.821 + 1.609i \quad F(A) = (2.43 \quad 41.459)$$

$$C := \frac{I_{10}}{U_{20}} \quad C = 0.137 - 7.019i \times 10^{-5} \quad F(C) = (0.137 \quad -0.029)$$

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



$$Z_1 := R_1 + j \cdot (X_M - X_{C1}) \quad Z_1 = 5 + 5i$$

$$Z_2 := R_2 + j \cdot (X_{L2} - X_M) \quad Z_2 = 7 + 15i$$

$$Z_3 := R_3 - j \cdot (X_M + X_{C2} - X_{L1}) \quad Z_3 = 9 + 10i$$

$$Z_K := \frac{Z_2 \cdot Z_3}{Z_2 + Z_3} + Z_1 \quad Z_K = 9.237 + 11.192i$$

$$I_{1K} := \frac{U_K}{Z_K} \quad I_{1K} = 2.304 - 6.494i \quad F(I_{1K}) = (6.891 \quad -70.465)$$

$$I_{2K} := I_{1K} \cdot \frac{Z_2}{Z_2 + Z_3} \quad I_{2K} = 1.753 - 3.42i \quad F(I_{2K}) = (3.843 \quad -62.863)$$

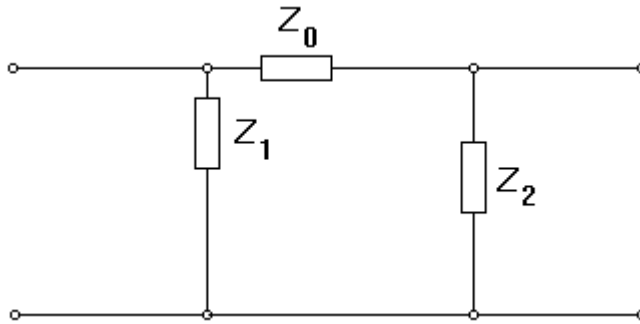
$$B := \frac{U}{I_{2K}} \quad B = 19.073 + 17.701i \quad F(B) = (26.021 \quad 42.863)$$

$$D := \frac{I_{1K}}{I_{2K}} \quad D = 1.777 - 0.237i \quad F(D) = (1.793 \quad -7.602)$$

Перевірка

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

Розрахувати параметри віток схеми П заміщення;



$$Z_0 := B \quad Z_0 = 19.073 + 17.701i \quad F(Z_0) = (26.021 \quad 42.863)$$

$$Y_1 := \frac{D-1}{B} \quad Y_1 = 0.016 - 0.027i \quad F(Y_1) = (0.031 \quad -59.833)$$

$$Y_2 := \frac{A-1}{B} \quad Y_2 = 0.065 + 0.024i \quad F(Y_2) = (0.069 \quad 20.1)$$

$$R_0 := \operatorname{Re}(Z_0) \quad R_0 = 19.073 \quad X_{L0} := \operatorname{Im}(Z_0) \quad X_{L0} = 17.701$$

$$Z_1 := \frac{1}{Y_1} \quad Z_1 = 16.088 + 27.68i \quad R_1 := \operatorname{Re}(Z_1) \quad R_1 = 16.088 \quad X_{L1} := \operatorname{Im}(Z_1) \quad X_{L1} = 27.68$$

$$Z_2 := \frac{1}{Y_2} \quad Z_2 = 13.529 - 4.951i \quad R_2 := \operatorname{Re}(Z_2) \quad R_2 = 13.529 \quad X_{C2} := -\operatorname{Im}(Z_2) \quad X_{C2} = 4.951$$

$$L_1 := \frac{X_{L1}}{\omega} \quad L_1 = 0.088 \quad C_2 := \frac{1}{\omega \cdot X_{C2}} \quad C_2 = 6.429 \times 10^{-4}$$

$$L_0 := \frac{X_{L0}}{\omega} \quad L_0 = 0.056$$