

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

Розрахунково-графічна робота
“Розрахунок однофазного кола синусоїдного струму”
Варіант № 209

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" :

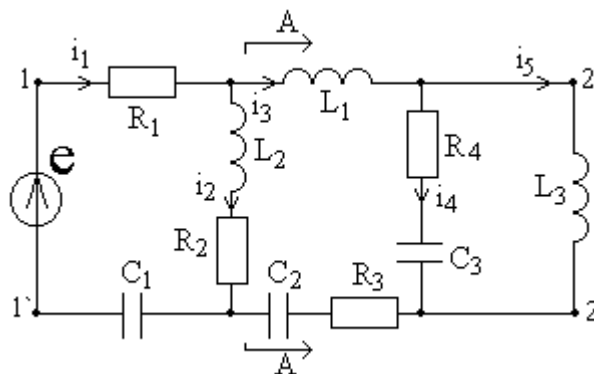
- 3.1. Розрахувати коефіцієнти A, B, C, D чотиріполюсника;
- 3.2. Розрахувати параметри R, L, C віток схеми заміщення.

$$E := 120 \quad \psi := -30 \quad R_1 := 7 \quad R_2 := 9 \quad R_3 := 11 \quad R_4 := 13 \quad X_{L1} := 37 \quad X_{L2} := 27 \quad X_{L3} := 20 \\ X_{C1} := 13 \quad X_{C2} := 10 \quad X_{C3} := 6 \quad X_M := 15 \quad f := 50$$

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

$$U = 103.923 - 60i$$

$$F(U) = (120 \quad -30)$$



Символічний метод

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

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

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

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

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

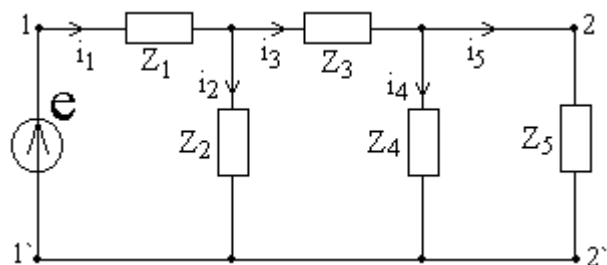
$$Z_1 = 7 - 13i$$

$$Z_2 = 9 + 27i$$

$$Z_3 = 11 + 27i$$

$$Z_4 = 13 - 6i$$

$$Z_5 = 20i$$



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

$$Z_{345} = 25.247 + 31.658i$$

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

$$Z_E = 14.631 + 2.154i$$

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

$$I_1 = 6.361 - 5.037i$$

$$F(I_1) = (8.114 \quad -38.373)$$

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

$$I_2 = 3.32 - 3.519i$$

$$F(I_2) = (4.837 \quad -46.667)$$

$$I_3 := I_1 - I_2$$

$$I_3 = 3.042 - 1.519i$$

$$F(I_3) = (3.4 \quad -26.53)$$

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

$$I_4 = 3.415 + 1.002i$$

$$F(I_4) = (3.559 \quad 16.349)$$

$$I_5 := I_3 - I_4$$

$$I_5 = -0.373 - 2.521i$$

$$F(I_5) = (2.548 \quad -98.426)$$

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 :

$$S_r := U \cdot I_1$$

$$S_r = 963.338 + 141.796i$$

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

$$P = 963.338$$

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

$$Q = 141.796i$$

Будуємо сумісну векторну діаграму струмів та топографічну діаграму напруг

Визначимо потенціали всіх точок позначених на схемі:

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

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

$$\phi_a = -65.484 - 82.699i$$

$$F(\phi_a) = (105.486 \quad -128.373)$$

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

$$\phi_b = -35.608 - 114.366i$$

$$F(\phi_b) = (119.781 \quad -107.294)$$

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

$$\phi_c = 59.393 - 24.739i$$

$$F(\phi_c) = (64.339 \quad -22.614)$$

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

$$\phi_1 = 103.923 - 60i$$

$$F(\phi_1) = (120 \quad -30)$$

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

$$\phi_A = 7.105i \times 10^{-15}$$

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

$$\phi_d = 88.736 - 90.42i$$

$$F(\phi_d) = (126.688 \quad -45.538)$$

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

$$\phi_e = 122.198 - 107.125i$$

$$F(\phi_e) = (162.506 \quad -41.239)$$

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

$$\phi_k = 128.209 - 127.617i$$

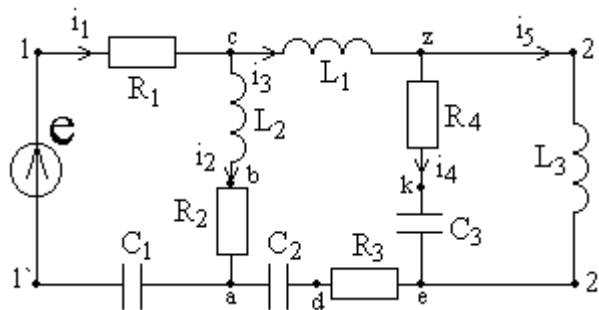
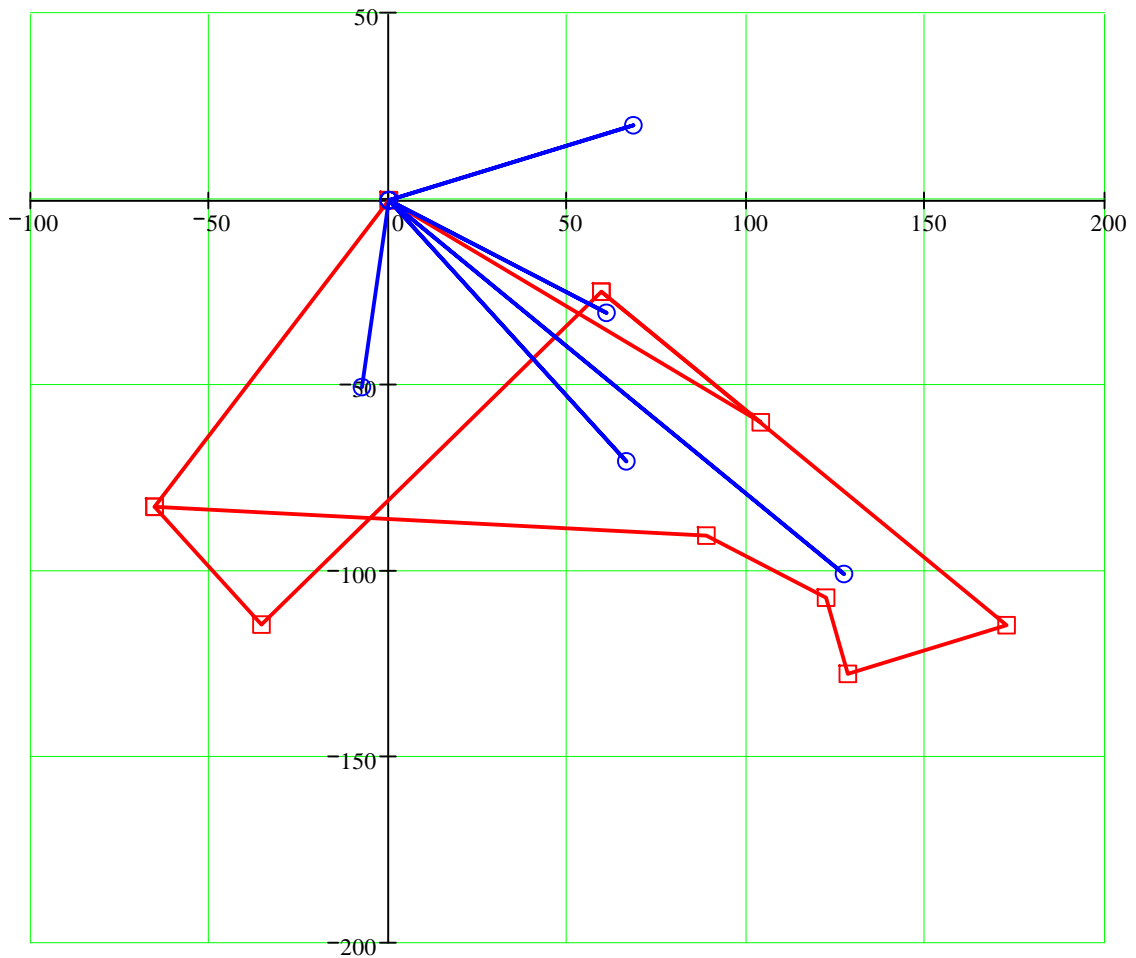
$$F(\phi_k) = (180.897 \quad -44.867)$$

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

$$\phi_z = 172.609 - 114.593i$$

$$F(\phi_z) = (207.184 \quad -33.58)$$

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.

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

$$Z_3 = 11 + 27i$$

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

$$Z_4 = 11 - 6i$$

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

$$Z_5 = 20i$$

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

$$Z_E = 24.88 + 29.334i$$

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

$$R_E = 24.88$$

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

$$X_E = 29.334$$

Умова резонансу струмів на ділянці "ab" :

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

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

$$B_2 = -0.02$$

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

$$X_2 = -50.437$$

Розрахувати струми для резонансного стану кола

$$\begin{aligned} Z_1 &:= R_1 - X_{C1} \cdot i & Z_1 &= 7 - 13i \\ Z_3 &:= R_3 + X_{L1} \cdot i - X_{C2} \cdot i & Z_3 &= 11 + 27i \\ Z_4 &:= R_4 - X_{C3} \cdot i & Z_4 &= 13 - 6i \\ Z_5 &:= X_{L3} \cdot i & Z_5 &= 20i \end{aligned}$$

$$Z_{345} := \frac{Z_4 \cdot Z_5}{Z_4 + Z_5} + Z_3 \quad Z_{345} = 25.247 + 31.658i$$

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

$$Z_{VX}(X_N) \left| \begin{array}{l} \text{complex} \\ \text{simplify} \end{array} \right. \rightarrow 2 \cdot \frac{(16177 \cdot X_N + 1177 \cdot X_N^2 + 418915 + 29802 \cdot i \cdot X_N + 681 \cdot i \cdot X_N^2 - 777985 \cdot i)}{(119690 + 4622 \cdot X_N + 73 \cdot X_N^2)}$$

$$X_N := \text{Im}(Z_{VX}(X_N)) \left| \begin{array}{l} \text{complex} \\ \text{solve, } X_N \rightarrow \\ \text{float, 20} \end{array} \right. \left(\begin{array}{c} 18.383023902244207284 \\ -62.145138439689141204 \end{array} \right) \quad X_N := \begin{pmatrix} X_{N0} \\ X_{N1} \end{pmatrix}$$

Отже резонанс кола буде при таких активних опорах у другій вітці: $X_N = \begin{pmatrix} 18.383 \\ -62.145 \end{pmatrix}$

$$X_n := X_{N0} \quad X_n = 18.383 \quad Z_{VX}(X_n) = 9.716$$

$$I_1 := \frac{U}{Z_{VX}(X_n)} \quad I_1 = 10.696 - 6.175i \quad F(I_1) = (12.351 \quad -30)$$

$$I_2 := I_1 \cdot \frac{Z_{345}}{Z_{345} + i \cdot X_n} \quad I_2 = 6.652 - 5.947i \quad F(I_2) = (8.923 \quad -41.8)$$

$$I_3 := I_1 - I_2 \quad I_3 = 4.044 - 0.228i \quad F(I_3) = (4.051 \quad -3.228)$$

$$I_4 := I_3 \cdot \frac{Z_5}{Z_4 + Z_5} \quad I_4 = 3.265 + 2.706i \quad F(I_4) = (4.241 \quad 39.651)$$

$$I_5 := I_3 - I_4 \quad I_5 = 0.779 - 2.934i \quad F(I_5) = (3.036 \quad -75.124)$$

$$S_1 := U \cdot \overline{I_1} \quad S_1 = 1.482 \times 10^3$$

$$P := (|I_1|)^2 \cdot R_1 + (|I_3|)^2 \cdot R_3 + (|I_4|)^2 \cdot R_4 \quad P = 1.482 \times 10^3$$

$$Q := (|I_1|)^2 \cdot (-X_{C1}) + (|I_2|)^2 \cdot X_n + (|I_3|)^2 \cdot (X_{L1} - X_{C2}) + (|I_4|)^2 \cdot (-X_{C3}) + (|I_5|)^2 \cdot X_{L3} \quad Q = -4.547 \times 10^{-13}$$

При $X_n := X_{N1} \quad X_n = -62.145 \quad Z_{VX}(X_n) = 69.227$

$$I_1 := \frac{U}{Z_{VX}(X_n)} \quad I_1 = 1.501 - 0.867i \quad F(I_1) = (1.733 \quad -30)$$

$$I_2 := I_1 \cdot \frac{Z_{345}}{Z_{345} + i \cdot X_n} \quad I_2 = 0.554 + 1.684i \quad F(I_2) = (1.773 \quad 71.8)$$

$$I_3 := I_1 - I_2 \quad I_3 = 0.947 - 2.551i \quad F(I_3) = (2.721 \quad -69.628)$$

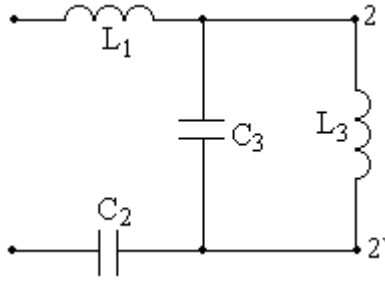
$$I_4 := I_3 \cdot \frac{Z_5}{Z_4 + Z_5} \quad I_4 = 2.544 - 1.282i \quad F(I_4) = (2.849 \quad -26.749)$$

$$I_5 := I_3 - I_4 \quad I_5 = -1.597 - 1.269i \quad F(I_5) = (2.04 \quad -141.524)$$

$$S_1 := U \cdot \overline{I_1} \quad S_1 = 208.011 \quad P := (|I_1|)^2 \cdot R_1 + (|I_3|)^2 \cdot R_3 + (|I_4|)^2 \cdot R_4 \quad P = 208.011$$

$$Q := (|I_1|)^2 \cdot (-X_{C1}) + (|I_2|)^2 \cdot X_n + (|I_3|)^2 \cdot (X_{L1} - X_{C2}) + (|I_4|)^2 \cdot (-X_{C3}) + (|I_5|)^2 \cdot X_{L3} \quad Q = 0$$

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



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

$$L_1 = 0.118$$

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

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

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

$$C_3 = 5.305 \times 10^{-4}$$

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

$$L_3 = 0.064$$

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

Знаходимо нулі: $Z(p) = 0$

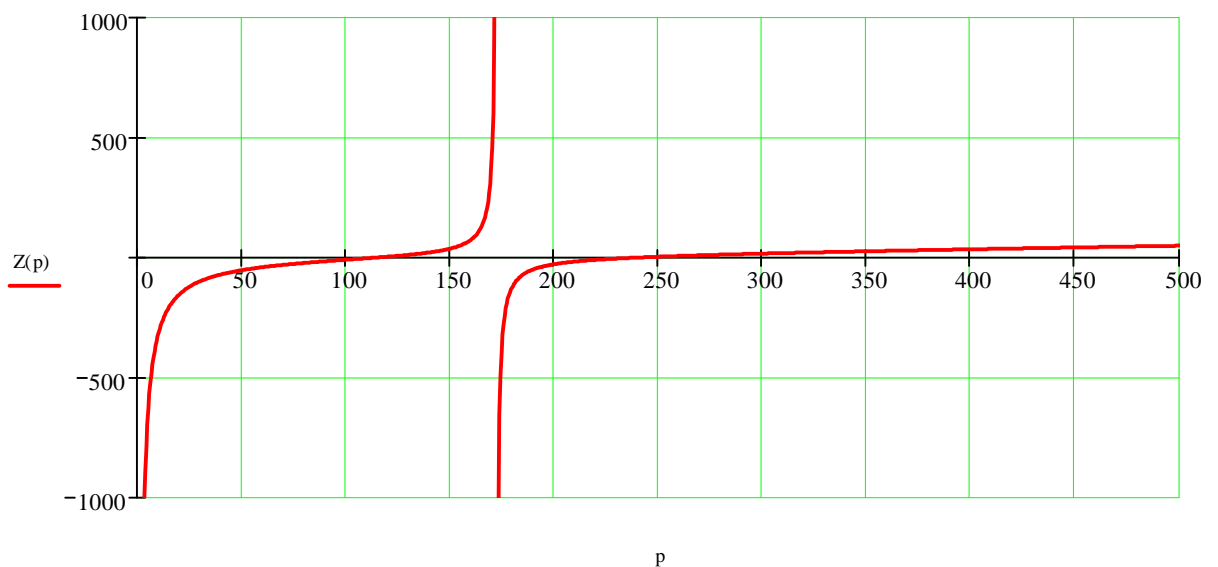
$$w_1 := Z(p) \left| \begin{array}{l} \text{solve, } p \\ \text{float, } 3 \end{array} \right. \rightarrow \begin{pmatrix} 242. \\ -242. \\ 116. \\ -116. \end{pmatrix}$$

$$w_1 := \begin{pmatrix} w_{10} \\ w_{12} \end{pmatrix} \quad w_1 = \begin{pmatrix} 242 \\ 116 \end{pmatrix}$$

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

$$w := \frac{1}{Z(p)} \left| \begin{array}{l} \text{solve, } p \\ \text{float, } 10 \end{array} \right. \rightarrow \begin{pmatrix} 172.0721163 \\ -172.0721163 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$w := \begin{pmatrix} w_0 \\ w_2 \end{pmatrix} \quad w = \begin{pmatrix} 172.072 \\ 0 \end{pmatrix}$$



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

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

$$Z_3 = 11 - 10i$$

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

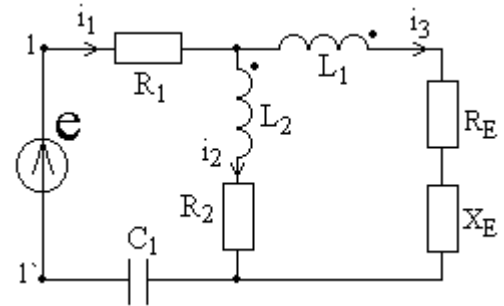
$$Z_4 = 13 - 6i$$

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

$$Z_5 = 20i$$

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

$$Z_{345} = 25.247 - 5.342i$$



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

$$R_E = 25.247$$

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

$$X_E = -5.342$$

Знайдемо контурні та міжконтурні опори схеми:

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

$$Z_{11} = 16 + 14i$$

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

$$Z_{22} = 34.247 + 88.658i$$

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

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

$$Z_{12} = 9 + 42i$$

$$U = 103.923 - 60i$$

$$F(U) = (120 \quad -30)$$

Given

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

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

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

$$I_2 := I_1 - I_3$$

$$I_1 = 7.428 - 1.337i$$

$$F(I_1) = (7.547 \quad -10.205)$$

$$I_2 = 4.018 - 1.267i$$

$$F(I_2) = (4.213 \quad -17.503)$$

$$I_3 = 3.41 - 0.07i$$

$$F(I_3) = (3.411 \quad -1.18)$$

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

$$I_4 = 2.666 + 2.375i$$

$$F(I_4) = (3.571 \quad 41.699)$$

$$I_5 := I_3 - I_4$$

$$I_5 = 0.744 - 2.445i$$

$$F(I_5) = (2.556 \quad -73.076)$$

Баланс потужностей електричного кола :

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

$$S_r = 852.136 - 306.699i$$

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

$$P_r = 852.136$$

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

$$Q_r = -306.699$$

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

$$S_{M1} = -60.575 + 206.839i$$

$$F(S_{M1}) = (215.527 \quad 106.323)$$

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

$$S_{M2} = 60.575 + 206.839i$$

$$F(S_{M2}) = (215.527 \quad 73.677)$$

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

$$S_{KC} = 852.136 - 306.699i$$

Визначимо потенціали всіх точок позначених на схемі:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$\phi_a = -17.383 - 96.56i$$

$$\phi_b = 18.775 - 107.962i$$

$$\phi_{c'} = 52.982 + 0.512i$$

$$\phi_c = 51.929 - 50.64i$$

$$\phi_1 = 103.923 - 60i$$

$$\phi_A = 2.842 \times 10^{-14} - 3.553i \times 10^{-14}$$

$$\phi_k = -17.758 - 114.778i$$

$$\phi_m = 68.336 - 116.551i$$

$$\phi_{m'} = 49.331 - 176.814i$$

$$\phi_c = 51.929 - 50.64i$$

$$F(\phi_a) = (98.112 \quad -100.205)$$

$$F(\phi_b) = (109.583 \quad -80.135)$$

$$F(\phi_{c'}) = (52.985 \quad 0.553)$$

$$F(\phi_c) = (72.533 \quad -44.28)$$

$$F(\phi_1) = (120 \quad -30)$$

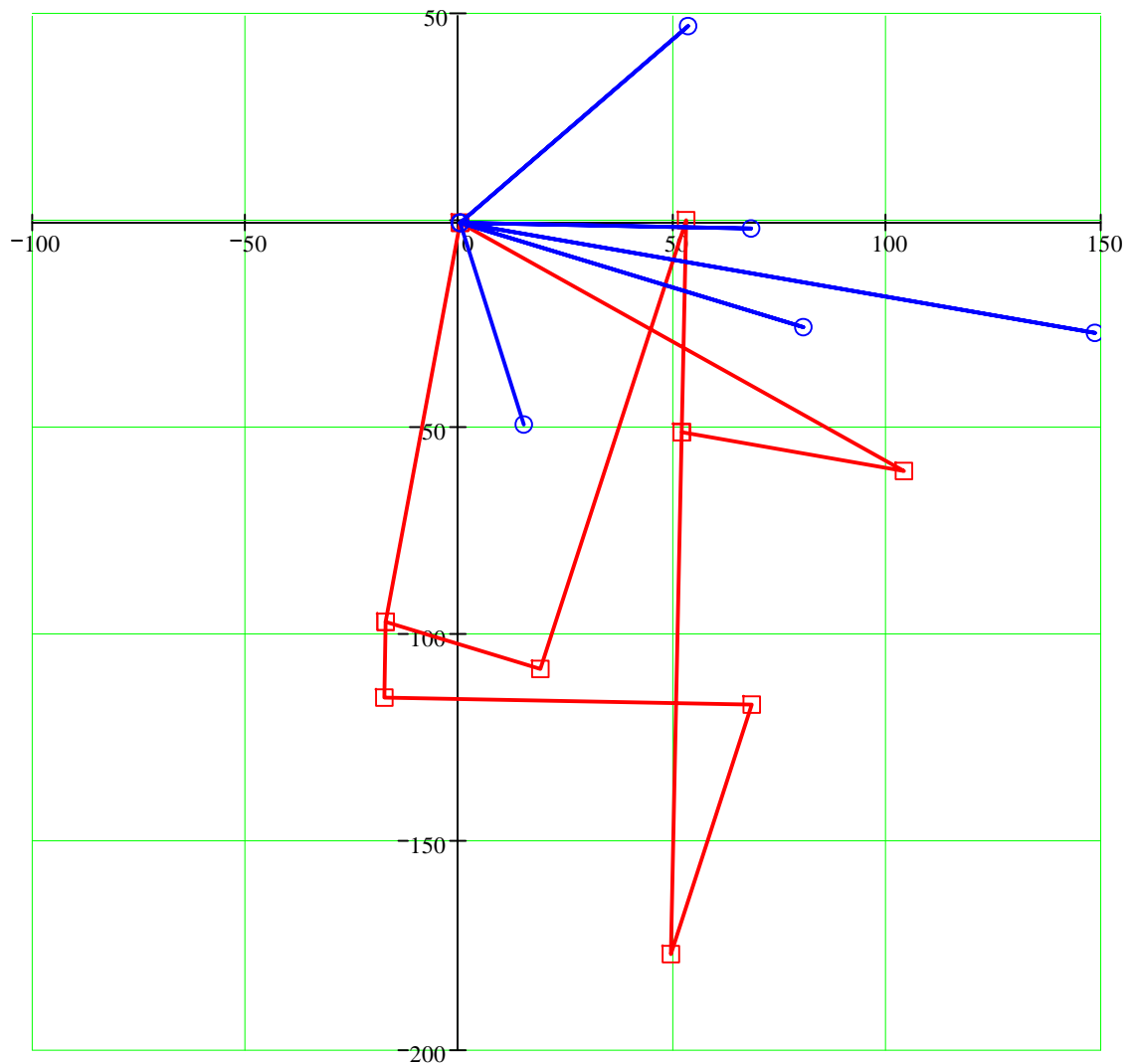
$$F(\phi_k) = (116.144 \quad -98.795)$$

$$F(\phi_m) = (135.107 \quad -59.616)$$

$$F(\phi_{m'}) = (183.567 \quad -74.411)$$

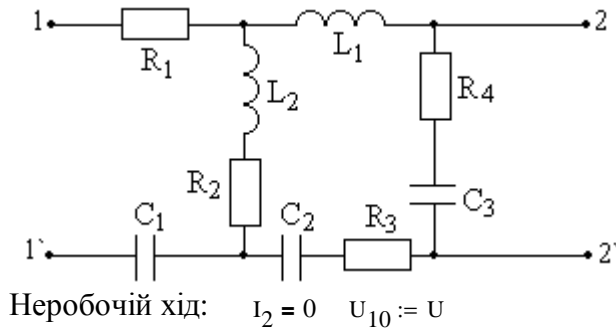
$$F(\phi_c) = (72.533 \quad -44.28)$$

Суміщена векторна діаграма струмів і топографічна діаграма напруг:



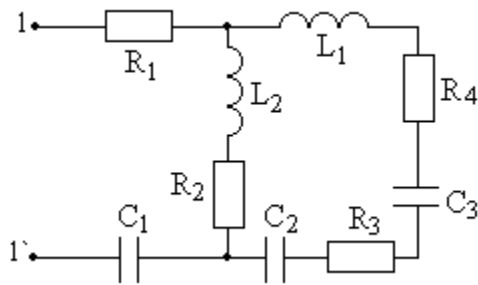
ВІДКИНУВШИ ВІТКУ МІЖ ЗАТИСКАЧАМИ 2-2", ВИКОНАТИ ЕКВІВАЛЕНТУВАННЯ
ВЗАЄМОІНДУКТИВНИХ ЗВ'ЯЗКІВ ВІТОК. ОДЕРЖАНУ СХЕМУ РОЗГЛЯДАТИ ЯК
ЧОТИРИПОЛЮСНИК З ЗАТИСКАЧАМИ 1-1" ТА 2-2" :

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



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

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



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

$$Z_1 = 7 + 2i$$

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

$$Z_2 = 9 + 12i$$

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

$$Z_3 = 24 + 6i$$

$$Z_{10} := \frac{Z_2 \cdot Z_3}{Z_2 + Z_3} + Z_1$$

$$Z_{10} = 14.72 + 8.153i$$

$$Z_{20} := \frac{Z_1 \cdot Z_2}{Z_1 + Z_2} + Z_3$$

$$Z_{20} = 28.54 + 8.403i$$

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

$$I_{10} = 3.675 - 6.112i$$

$$F(I_{10}) = (7.131 \quad -58.981)$$

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

$$I_{30} = 2.346 - 1.61i$$

$$F(I_{30}) = (2.846 \quad -34.461)$$

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

$$U_{20} = 20.841 - 35.012i$$

$$F(U_{20}) = (40.745 \quad -59.236)$$

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

$$A = 2.57 + 1.438i$$

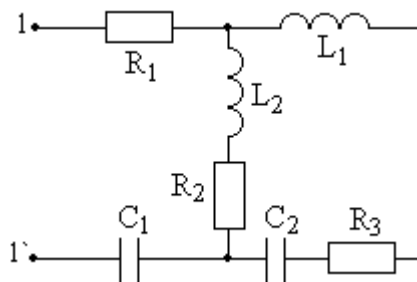
$$F(A) = (2.945 \quad 29.236)$$

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

$$C = 0.175 + 7.805i \times 10^{-4}$$

$$F(C) = (0.175 \quad 0.255)$$

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



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

$$Z_1 = 7 + 2i$$

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

$$Z_2 = 9 + 12i$$

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

$$Z_3 = 11 + 12i$$

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

$$Z_K = 11.98 + 8.025i$$

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

$$I_{1K} = 3.672 - 7.468i$$

$$F(I_{1K}) = (8.322 \quad -63.817)$$

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

$$I_{2K} = 1.945 - 3.491i$$

$$F(I_{2K}) = (3.996 \quad -60.881)$$

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

$$B = 25.773 + 15.413i$$

$$F(B) = (30.031 \quad 30.881)$$

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

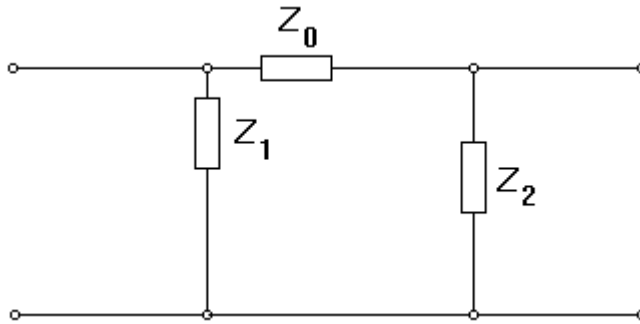
$$D = 2.08 - 0.107i$$

$$F(D) = (2.083 \quad -2.936)$$

Перевірка

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

Розрахувати параметри віток схеми П заміщення;



$$Z_0 := B \quad Z_0 = 25.773 + 15.413i \quad F(Z_0) = (30.031 \quad 30.881)$$

$$Y_1 := \frac{D-1}{B} \quad Y_1 = 0.029 - 0.022i \quad F(Y_1) = (0.036 \quad -36.521)$$

$$Y_2 := \frac{A-1}{B} \quad Y_2 = 0.069 + 0.014i \quad F(Y_2) = (0.071 \quad 11.616)$$

$$R_0 := \operatorname{Re}(Z_0) \quad R_0 = 25.773 \quad X_{L0} := \operatorname{Im}(Z_0) \quad X_{L0} = 15.413$$

$$Z_1 := \frac{1}{Y_1} \quad Z_1 = 22.238 + 16.468i \quad R_1 := \operatorname{Re}(Z_1) \quad R_1 = 22.238 \quad X_{L1} := \operatorname{Im}(Z_1) \quad X_{L1} = 16.468$$

$$Z_2 := \frac{1}{Y_2} \quad Z_2 = 13.815 - 2.84i \quad R_2 := \operatorname{Re}(Z_2) \quad R_2 = 13.815 \quad X_{C2} := -\operatorname{Im}(Z_2) \quad X_{C2} = 2.84$$

$$L_1 := \frac{X_{L1}}{\omega} \quad L_1 = 0.052 \quad C_2 := \frac{1}{\omega \cdot X_{C2}} \quad C_2 = 1.121 \times 10^{-3}$$

$$L_0 := \frac{X_{L0}}{\omega} \quad L_0 = 0.049$$