

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

Розрахунково-графічна робота
“Розрахунок однофазного кола синусоїдного струму”
Варіант № 218

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.

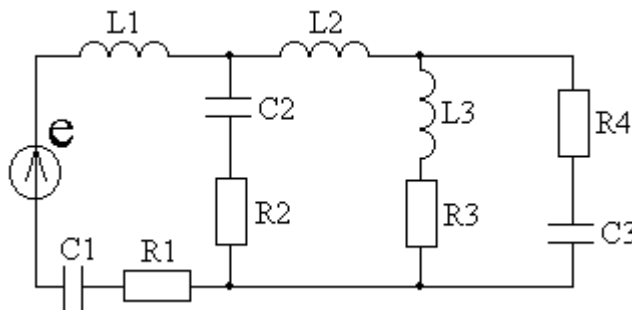
2. ПРИ НАЯВНОСТІ МАГНІТНОГО ЗВ'ЯЗКУ МІЖ ІНДУКТИВНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ L_1 ТА L_2 (ОДНОЙМЕННІ ПОЧАТКИ ПОЗНАЧЕНІ НА СХЕМІ ТОЧКАМИ):

- 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" :

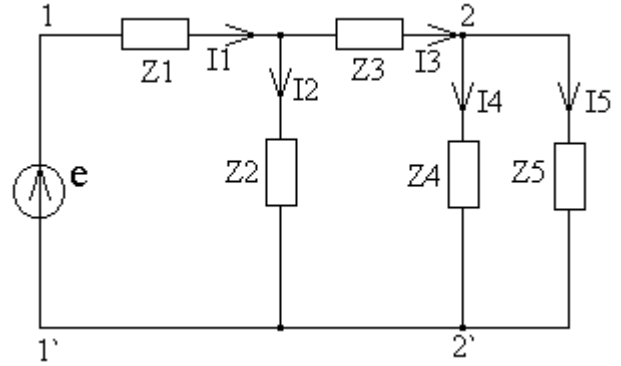
- 3.1. Розрахувати коефіцієнти A , B , C , D чотириполусника;
- 3.2. Розрахувати параметри R , L , C віток схеми заміщення.

$$\begin{array}{llllll} E := 120 & \phi := -30 & R_1 := 7 & R_2 := 9 & R_3 := 11 & R_4 := 13 \\ X_{L1} := 30 & X_{L2} := 35 & X_{L3} := 40 & X_{C1} := 10 & X_{C2} := 15 & X_{C3} := 20 \\ X_M := 20 & f := 50 & & & & \end{array}$$



Символічний метод

$$\begin{aligned} Z_1 &:= R_1 + X_{L1} \cdot i - X_{C1} \cdot i & Z_1 &= 7 + 20i \\ Z_2 &:= R_2 - X_{C2} \cdot i & Z_2 &= 9 - 15i \\ Z_3 &:= X_{L2} \cdot i & Z_3 &= 35i \\ Z_4 &:= R_3 + X_{L3} \cdot i & Z_4 &= 11 + 40i \\ Z_5 &:= R_4 - X_{C3} \cdot i & Z_5 &= 13 - 20i \end{aligned}$$



$$Z_{345} := \frac{Z_5 \cdot Z_4}{Z_5 + Z_4} + Z_3 \quad Z_{345} = 29.336 + 23.053i$$

$$Z_E := \frac{Z_2 \cdot Z_{345}}{Z_2 + Z_{345}} + Z_1 \quad Z_E = 21.014 + 10.99i$$

$$E_C = 103.923 - 60i$$

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

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

$$I_1 = 2.711 - 4.273i$$

$$F(I_1) = (5.06 \quad -57.607)$$

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

$$I_2 = 4.118 - 2.505i$$

$$F(I_2) = (4.82 \quad -31.31)$$

$$I_3 := I_1 - I_2$$

$$I_3 = -1.407 - 1.768i$$

$$F(I_3) = (2.26 \quad -128.507)$$

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

$$I_4 = -1.214 + 1.226i$$

$$F(I_4) = (1.725 \quad 134.711)$$

$$I_5 := I_3 - I_4$$

$$I_5 = -0.193 - 2.994i$$

$$F(I_5) = (3.001 \quad -93.689)$$

Баланс потужностей електричного кола :

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

$$S_r = 538.086 + 281.393i$$

$$P := (|I_1|)^2 \cdot R_1 + (|I_2|)^2 \cdot R_2 + (|I_4|)^2 \cdot R_3 + (|I_5|)^2 \cdot R_4$$

$$P = 538.086$$

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

$$Q = 281.393i$$

Визначимо потенціали всіх точок позначених на схемі:

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

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

$$\phi_a = -42.728 - 27.108i$$

$$F(\phi_a) = (50.602 \quad -147.607)$$

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

$$\phi_b = -23.752 - 57.018i$$

$$F(\phi_b) = (61.767 \quad -112.615)$$

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

$$\phi_c = 13.307 - 79.559i$$

$$F(\phi_c) = (80.664 \quad -80.504)$$

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

$$\phi_d = -24.261 - 141.325i$$

$$F(\phi_d) = (143.392 \quad -99.741)$$

$$\phi_1 := \phi_d + I_1 \cdot X_{L1} \cdot i$$

$$\phi_1 = 103.923 - 60i$$

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

$$\phi_A := \phi_1 - E_C$$

$$\phi_A = -2.842 \times 10^{-14} + 2.132i \times 10^{-14}$$

$$\phi_k := \phi_b + I_4 \cdot R_3$$

$$\phi_k = -37.104 - 43.53i$$

$$F(\phi_k) = (57.198 \quad -130.444)$$

$$\phi_z := \phi_k + I_4 \cdot X_{L3} \cdot i$$

$$\phi_z = -86.15 - 92.084i$$

$$F(\phi_z) = (126.1 \quad -133.093)$$

$$\phi_d := \phi_z + I_3 \cdot X_{L2} \cdot i$$

$$\phi_d = -24.261 - 141.325i$$

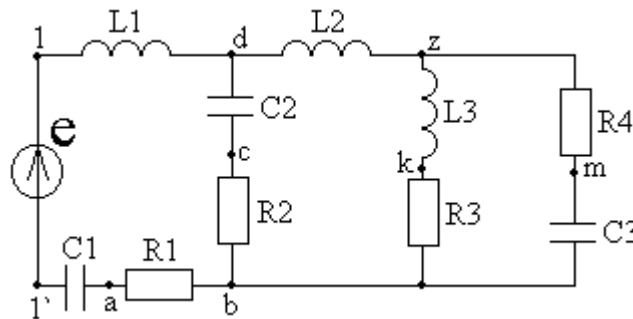
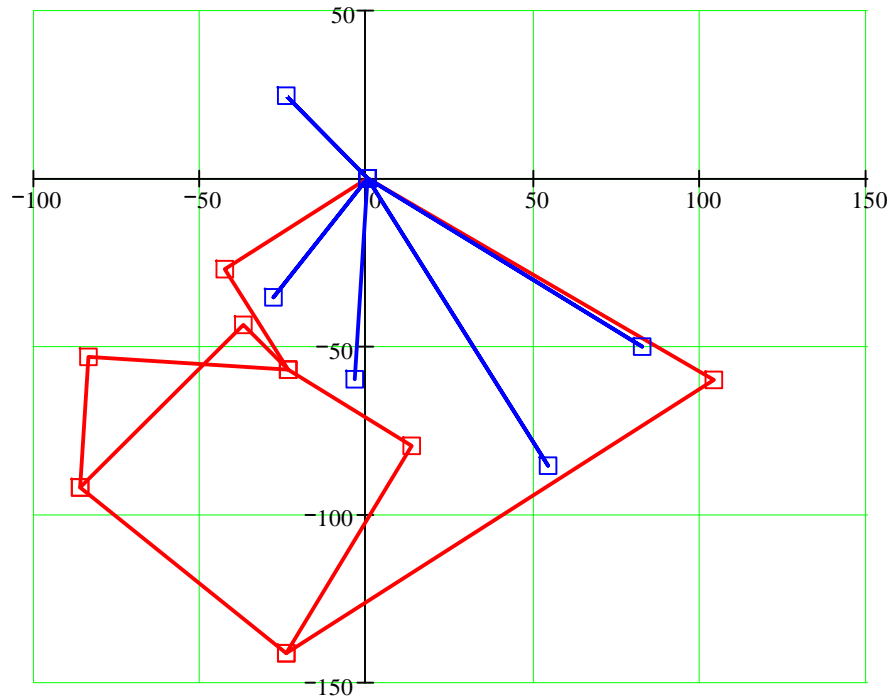
$$F(\phi_d) = (143.392 \quad -99.741)$$

$$\phi_m := \phi_b + I_5 \cdot (-X_{C3} \cdot i)$$

$$\phi_m = -83.64 - 53.157i$$

$$F(\phi_m) = (99.102 \quad -147.562)$$

Суміщена векторна діаграма струмів і топографічна діаграма напруг:



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

$$Z_3 := X_{L2} \cdot i$$

$$Z_3 = 35i$$

$$Z_4 := R_3 + X_{L3} \cdot i$$

$$Z_4 = 11 + 40i$$

$$Z_5 := R_4 - X_{C3} \cdot i$$

$$Z_5 = 13 - 20i$$

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

$$Z_E = 29.336 + 23.053i$$

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

$$R_E = 29.336$$

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

$$X_E = 23.053$$

Умова резонансу струмів на ділянці "ab" : $B_{ab} = B_2 + B_E$ $B_{ab} := 0$ $B_2 = -B_E$

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

$$B_2 = -0.017$$

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

$$X_2 = -60.384$$

Розрахувати струми для резонансного стану кола

$$Z_1 := R_1 + X_{L1} \cdot i - X_{C1} \cdot i$$

$$Z_1 = 7 + 20i$$

$$Z_3 := X_{L2} \cdot i$$

$$Z_3 = 35i$$

$$Z_4 := R_3 + X_{L3} \cdot i$$

$$Z_4 = 11 + 40i$$

$$Z_5 := R_4 - X_{C3} \cdot i$$

$$Z_5 = 13 - 20i$$

$$Z_{345} := \frac{Z_5 \cdot Z_4}{Z_5 + Z_4} + Z_3 \quad Z_{345} = 29.336 + 23.053i$$

Вхідний опір кола:

$$Z_{VX}(X_N) := \frac{Z_{345} \cdot i \cdot X_N}{Z_{345} + i \cdot X_N} + Z_1 \rightarrow \left(\frac{-5625}{244} + \frac{3579}{122} \cdot i \right) \cdot \frac{X_N}{\left(\frac{3579}{122} + \frac{5625}{244} \cdot i + i \cdot X_N \right)} + 7 + 20 \cdot i$$

$$Z_{VX}(X_N) \left| \begin{array}{l} \text{complex} \\ \text{simplify} \end{array} \right. \rightarrow \frac{\left(315000 \cdot X_N + 35464 \cdot X_N^2 + 9510543 + 2258649 \cdot i \cdot X_N + 42020 \cdot i \cdot X_N^2 + 27172980 \cdot i \right)}{\left(1358649 + 45000 \cdot X_N + 976 \cdot X_N^2 \right)}$$

Уявна частина вхідного опору, яка за умовою резонансу дорівнює нулю:

$$X_{VX}(X_N) := \text{Im}(Z_{VX}(X_N)) \left| \begin{array}{l} \text{complex} \\ \text{simplify} \end{array} \right. \rightarrow \frac{\left(2258649 \cdot X_N + 42020 \cdot X_N^2 + 27172980 \right)}{\left(1358649 + 45000 \cdot X_N + 976 \cdot X_N^2 \right)}$$

$$X_N := X_{VX}(X_N) \left| \begin{array}{l} \text{solve}, X_N \\ \text{float}, 30 \end{array} \right. \rightarrow \left(\begin{array}{l} -18.1784569387366306250423395023 \\ -35.5733041274223412930918822969 \end{array} \right)$$

Отже резонанс кола неможливий при будь-яких опорах у другій вітці,

так як: $X_N = \begin{pmatrix} -18.178 \\ -35.573 \end{pmatrix}$

Отже резонанс кола буде при такому опорі у другій вітці: $X_N = \begin{pmatrix} -18.178 \\ -35.573 \end{pmatrix}$

$$X_{N1} := X_{N0} \quad X_{N1} = -18.178$$

$$Z_{VX}(X_{N1}) = 17.962$$

$$I_1 := \frac{U}{Z_{VX}(X_{N1})}$$

$$I_1 = 5.786 - 3.34i$$

$$F(I_1) = (6.681 \quad -30)$$

$$I_2 := I_1 \cdot \frac{Z_{345}}{Z_{345} + i \cdot X_{N1}}$$

$$I_2 = 8.38 - 0.186i$$

$$F(I_2) = (8.382 \quad -1.273)$$

$$I_3 := I_1 - I_2$$

$$I_3 = -2.594 - 3.154i$$

$$F(I_3) = (4.084 \quad -129.435)$$

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

$$I_4 = -2.158 + 2.251i$$

$$F(I_4) = (3.118 \quad 133.784)$$

$$I_5 := I_3 - I_4$$

$$I_5 = -0.436 - 5.405i$$

$$F(I_5) = (5.423 \quad -94.617)$$

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

$$S_1 = 801.701$$

$$P := \left(|I_1| \right)^2 \cdot R_1 + \left(|I_4| \right)^2 \cdot R_3 + \left(|I_5| \right)^2 \cdot R_4$$

$$P = 801.701$$

$$Q := \left(|I_1| \right)^2 \cdot (X_{L1} - X_{C1}) + \left(|I_2| \right)^2 \cdot X_{N1} + \left(|I_3| \right)^2 \cdot X_{L2} + \left(|I_4| \right)^2 \cdot X_{L3} + \left(|I_5| \right)^2 \cdot (-X_{C3}), Q = -3.411 \times 10^{-13}$$

$$X_{N2} := X_{N1} \quad X_{N2} = -35.573$$

$$Z_{VX}(X_{N2}) = 43.49$$

$$I_1 := \frac{U}{Z_{VX}(X_{N2})}$$

$$I_1 = 2.39 - 1.38i$$

$$F(I_1) = (2.759 \quad -30)$$

$$I_2 := I_1 \cdot \frac{Z_{345}}{Z_{345} + i \cdot X_{N2}}$$

$$I_2 = 2.759 + 1.676i$$

$$F(I_2) = (3.228 \quad 31.273)$$

$$I_3 := I_1 - I_2$$

$$I_3 = -0.369 - 3.055i$$

$$F(I_3) = (3.077 \quad -96.888)$$

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

$$I_4 = -2.283 + 0.555i$$

$$F(I_4) = (2.35 \quad 166.33)$$

$$I_5 := I_3 - I_4$$

$$I_5 = 1.914 - 3.61i$$

$$F(I_5) = (4.086 \quad -62.07)$$

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

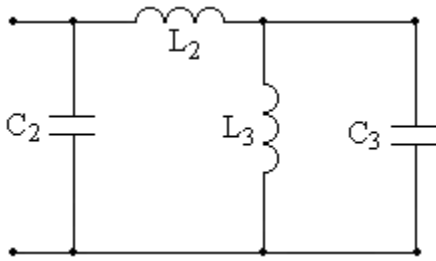
$$S_1 = 331.108$$

$$P := (|I_1|)^2 \cdot R_1 + (|I_4|)^2 \cdot R_3 + (|I_5|)^2 \cdot R_4$$

$$P = 331.108$$

$$Q := (|I_1|)^2 \cdot (X_{L1} - X_{C1}) + (|I_2|)^2 \cdot X_{N2} + (|I_3|)^2 \cdot X_{L2} + (|I_4|)^2 \cdot X_{L3} + (|I_5|)^2 \cdot (-X_{C3}) Q = 0$$

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



$$L_2 := \frac{X_{L2}}{\omega} \rightarrow \frac{7}{20 \cdot \pi}$$

$$L_2 = 0.111$$

$$L_3 := \frac{X_{L3}}{\omega} \rightarrow \frac{2}{5 \cdot \pi}$$

$$L_3 = 0.127$$

$$C_2 := \frac{1}{\omega \cdot X_{C2}} \rightarrow \frac{1}{1500 \cdot \pi}$$

$$C_2 = 2.122 \times 10^{-4}$$

$$C_3 := \frac{1}{\omega \cdot X_{C3}} \rightarrow \frac{1}{2000 \cdot \pi}$$

$$C_3 = 1.592 \times 10^{-4}$$

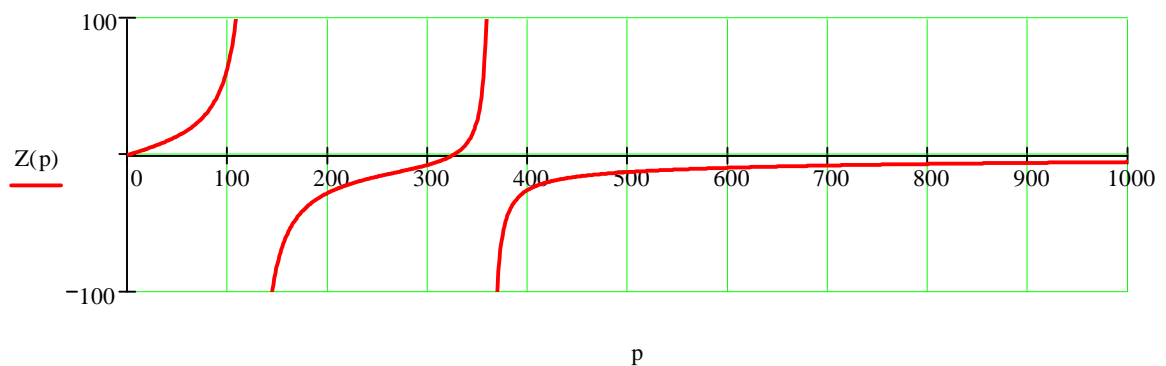
$$Z(p) := \frac{\left(\frac{p \cdot L_3 \cdot \frac{-1}{p \cdot C_3}}{p \cdot L_3 - \frac{1}{p \cdot C_3}} + p \cdot L_2 \right) \cdot \frac{-1}{p \cdot C_2}}{\frac{-1}{p \cdot C_2} + \frac{p \cdot L_3 \cdot \frac{-1}{p \cdot C_3}}{p \cdot L_3 - \frac{1}{p \cdot C_3}} + p \cdot L_2}$$

Знаходимо нулі: $Z(p) = 0$

$$w_1 := Z(p) \left| \begin{array}{l} \text{solve, } p \\ \text{float, } 3 \end{array} \right. \rightarrow \begin{pmatrix} 327. \\ -327. \\ 0 \end{pmatrix}$$

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

$$w := \frac{1}{Z(p)} \left| \begin{array}{l} \text{solve, } p \\ \text{float, } 10 \end{array} \right. \rightarrow \begin{pmatrix} 363.6787829 \\ -363.6787829 \\ 125.6256696 \\ -125.6256696 \end{pmatrix}$$



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

2.1. Розрахувати струми віток методом контурних струмів, попередньо спростивши схему до двох незалежних контурів.

2.2. Побудувати суміщену векторну діаграму струмів і топографічну діаграму напруг.

2.3. Скласти баланс активних і реактивних потужностей кола.

2.4. Розрахувати активну потужність, що передається магнітним потоком взаємодукції.

Спростимо схему до двох незалежних контурів

$$Z_4 := R_3 + X_{L3} \cdot i$$

$$Z_4 = 11 + 40i$$

$$Z_5 := R_4 - X_{C3} \cdot i$$

$$Z_5 = 13 - 20i$$

$$Z_{45} := \frac{Z_5 \cdot Z_4}{Z_5 + Z_4}$$

$$Z_{45} = 29.336 - 11.947i$$

$$Z_{345} := Z_{45}$$

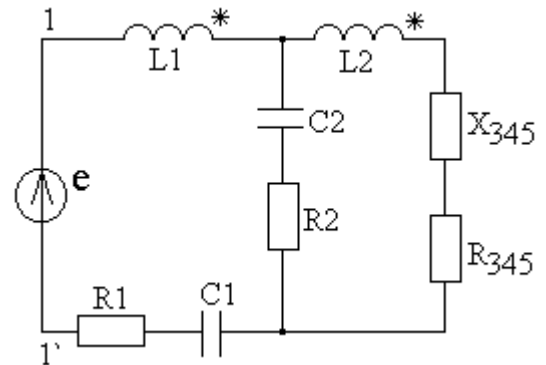
$$Z_{345} = 29.336 - 11.947i$$

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

$$R_{345} = 29.336$$

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

$$X_{345} = -11.947$$



$$Z_{11} := R_1 + R_2 - X_{C2} \cdot i + X_{L1} \cdot i - X_{C1} \cdot i$$

$$Z_{11} = 16 + 5i$$

$$Z_{22} := R_{345} + X_{345} \cdot i - X_{C2} \cdot i + R_2 + X_{L2} \cdot i$$

$$Z_{22} = 38.336 + 8.053i$$

$$Z_{12} := R_2 - X_{C2} \cdot i - X_M \cdot i$$

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

$$Z_{12} = 9 - 35i$$

$$U = 103.923 - 60i$$

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

Given

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

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

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

$$I_2 := I_1 - I_3$$

$$I_1 = 1.63 - 1.755i$$

$$F(I_1) = (2.395 \quad -47.104)$$

$$I_2 = 3.18 - 0.18i$$

$$F(I_2) = (3.185 \quad -3.238)$$

$$I_3 = -1.55 - 1.575i$$

$$F(I_3) = (2.21 \quad -134.547)$$

Баланс потужностей електричного кола :

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

$$S_T = 274.701 + 84.529i$$

$$P_T := \text{Re}(S_T)$$

$$P_T = 274.701$$

$$Q_T := \text{Im}(S_T)$$

$$Q_T = 84.529$$

$$S_{M1} := \overline{I_1} \cdot I_3 \cdot X_M \cdot i$$

$$S_{M1} = 105.738 + 4.722i$$

$$F(S_{M1}) = (105.844 \quad 2.557)$$

$$S_{M2} := \overline{I_3} \cdot I_1 \cdot X_M \cdot i$$

$$S_{M2} = -105.738 + 4.722i$$

$$F(S_{M2}) = (105.844 \quad 177.443)$$

$$S_{KC} := (|I_1|)^2 \cdot (X_{L1} \cdot i + R_1 - X_{C1} \cdot i) + (|I_2|)^2 \cdot (R_2 - X_{C2} \cdot i) + (|I_3|)^2 \cdot (R_{345} + X_{345} \cdot i + X_{L2} \cdot i)$$

$$S_{KC} + (S_{M1} + S_{M2}) = 274.701 + 84.529i$$

Визначимо потенціали всіх точок позначених на схемі:

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

$$\phi_a := \phi_{1'} + I_1 \cdot R_1$$

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

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

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

$$\phi_1 := \phi_d + I_1 \cdot X_{L1} \cdot i$$

$$\phi_{1'} := \phi_1 + I_3 \cdot X_M \cdot i$$

$$\phi_A := \phi_{1'} - E_C$$

$$\phi_e := \phi_b + I_3 \cdot R_{345}$$

$$\phi_k := \phi_e + I_3 \cdot X_{345} \cdot i$$

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

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

$$\phi_a = 11.412 - 12.282i$$

$$\phi_b = -6.134 - 28.585i$$

$$\phi_c = 22.488 - 30.204i$$

$$\phi_d = 19.79 - 77.908i$$

$$\phi_1 = 72.429 - 29i$$

$$\phi_{1'} = 103.923 - 60i$$

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

$$\phi_e = -51.605 - 74.781i$$

$$\phi_k = -70.418 - 56.264i$$

$$\phi_{d'} = -15.303 - 110.514i$$

$$\phi_d = 19.79 - 77.908i$$

$$F(\phi_a) = (16.766 \quad -47.104)$$

$$F(\phi_b) = (29.236 \quad -102.112)$$

$$F(\phi_c) = (37.657 \quad -53.331)$$

$$F(\phi_d) = (80.383 \quad -75.747)$$

$$F(\phi_1) = (78.019 \quad -21.821)$$

$$F(\phi_{1'}) = (120 \quad -30)$$

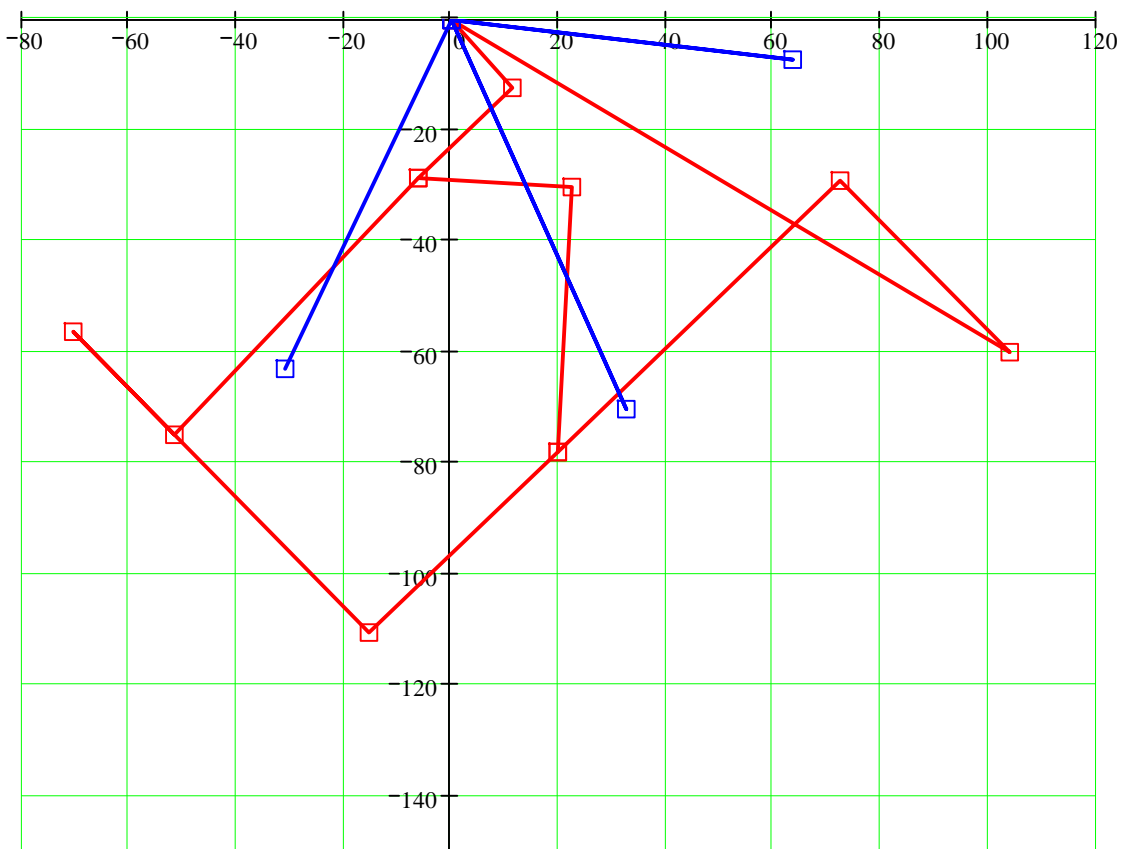
$$F(\phi_e) = (90.859 \quad -124.609)$$

$$F(\phi_k) = (90.135 \quad -141.375)$$

$$F(\phi_{d'}) = (111.568 \quad -97.883)$$

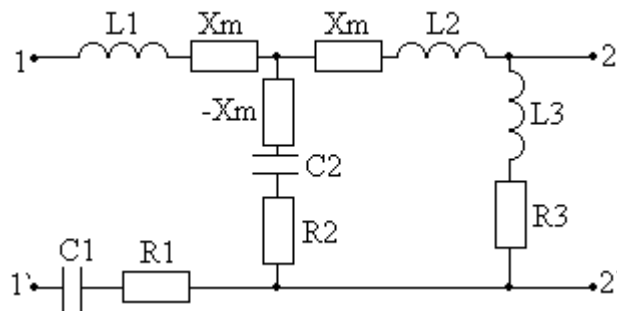
$$F(\phi_d) = (80.383 \quad -75.747)$$

Суміщена векторна діаграма струмів і топографічна діаграма напруг:



3. Відкинувши крайню вітку між полбсами 2,2", зробити розв'язку магнітного зв'язку. Одержану схему розглядати як чотириполіусник з полюсами 1,1" та 2,2":

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



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

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

Неробочій хід:

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

$$Z_1 := R_1 + X_{L1} \cdot i - X_{C1} \cdot i + X_M \cdot i \rightarrow 7 + 40 \cdot i$$

$$Z_2 := R_2 - X_{C2} \cdot i - X_M \cdot i \rightarrow 9 - 35 \cdot i$$

$$Z_3 := R_3 + X_{L2} \cdot i + X_{L3} \cdot i + X_M \cdot i \rightarrow 11 + 95 \cdot i$$

$$Z_{10} := \frac{Z_2 \cdot Z_3}{Z_2 + Z_3} + Z_1 \quad Z_{10} = 31.17 - 9.01i \quad Z_{20} := \frac{Z_1 \cdot Z_2}{Z_1 + Z_2} + Z_3 \quad Z_{20} = 96.349 + 75.516i$$

$$I_{10} := \frac{U_{10}}{Z_{10}} \quad I_{10} = 3.59 - 0.887i \quad F(I_{10}) = (3.698 \quad -13.878)$$

$$I_{30} := I_{10} \cdot \frac{Z_2}{Z_2 + Z_3} \quad I_{30} = -1.998 - 0.687i \quad F(I_{30}) = (2.113 \quad -161.022)$$

$$U_{20} := I_{30} \cdot (R_3 + i \cdot X_{L3}) \quad U_{20} = 5.508 - 87.497i \quad F(U_{20}) = (87.67 \quad -86.398)$$

$$A := \frac{U_{10}}{U_{20}} \quad A = 0.758 + 1.14i \quad F(A) = (1.369 \quad 56.398)$$

$$C := \frac{I_{10}}{U_{20}} \quad C = 0.013 + 0.04i \quad F(C) = (0.042 \quad 72.521)$$

Коротке замикання:

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

$$Z_1 := R_1 + i \cdot (X_{L1} - X_{C1} + X_M) \rightarrow 7 + 40 \cdot i$$

$$Z_2 := R_2 + i \cdot (-X_{C2} - X_M) \rightarrow 9 - 35 \cdot i$$

$$Z_3 := i \cdot (X_{L2} + X_M) \rightarrow 55 \cdot i$$

$$Z_K := \frac{Z_2 \cdot Z_3}{Z_2 + Z_3} + Z_1 \quad Z_K = 63.601 - 30.78i$$

$$I_{1K} := \frac{U_K}{Z_K} \quad I_{1K} = 1.694 - 0.124i \quad F(I_{1K}) = (1.698 \quad -4.175)$$

$$I_{3K} := I_{1K} \cdot \frac{Z_2}{Z_2 + Z_3} \quad I_{3K} = -2.307 - 1.584i \quad F(I_{3K}) = (2.798 \quad -145.527)$$

$$B := \frac{U_K}{I_{3K}} \quad B = -18.479 + 38.694i \quad F(B) = (42.88 \quad 115.527)$$

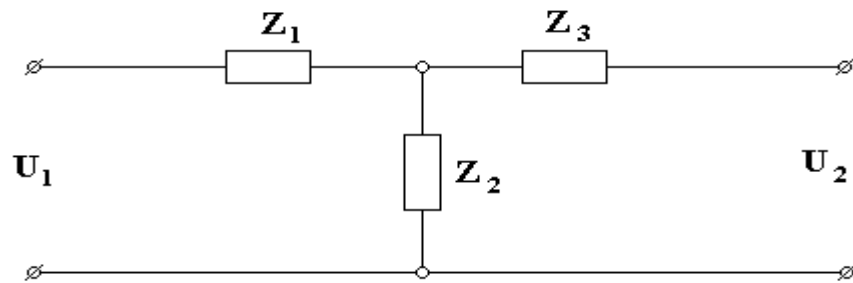
$$D := \frac{I_{1K}}{I_{3K}} \quad D = -0.474 + 0.379i \quad F(D) = (0.607 \quad 141.351)$$

Перевірка $A \cdot D - B \cdot C = 1$

$$F(A) = (1.369 \ 56.398) \quad F(B) = (42.88 \ 115.527)$$

$$F(C) = (0.042 \ 72.521) \quad F(D) = (0.607 \ 141.351)$$

Расчитать параметры R,L,C Т - схемы замещения.



$$Z_1 := \frac{A - 1}{C}$$

$$Z_1 = 24.05 + 13.6i$$

$$F(Z_1) = (27.629 \ 29.488)$$

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

$$Z_2 = 9 - 35i$$

$$F(Z_2) = (36.139 \ -75.579)$$

$$Z_3 := \frac{D - 1}{C}$$

$$Z_3 = -1.925 + 36.025i$$

$$F(Z_3) = (36.076 \ 93.059)$$

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

$$R_1 = 24.05$$

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

$$R_2 = 7.12$$

$$R_3 := \operatorname{Re}(Z_3)$$

$$R_3 = -1.925$$

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

$$X_{C2} := -\operatorname{Im}(Z_2) \quad X_{L3} := \operatorname{Im}(Z_3)$$

$$X_{L1} = 13.6$$

$$X_{C2} = 22.61 \quad X_{L3} = 36.025$$

$$L_1 := \frac{X_{L1}}{2 \cdot \pi \cdot f}$$

$$C_2 := \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot X_{C2}}$$

$$L_3 := \frac{X_{L3}}{2 \cdot \pi \cdot f}$$

$$L_1 = 0.043$$

$$C_2 = 1.408 \times 10^{-4}$$

$$L_3 = 0.115$$