

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

Розрахунково-графічна робота
“Розрахунок однофазного кола синусоїдного струму”
Варіант № 309

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.

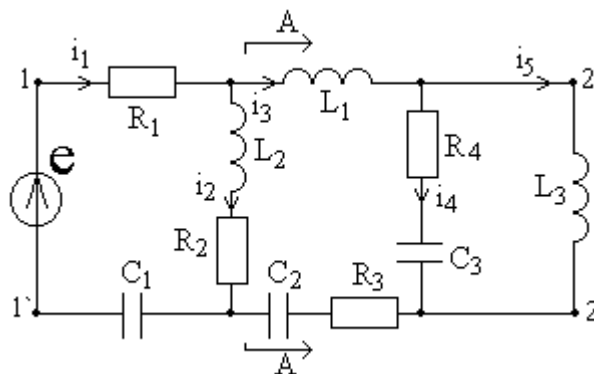
$$E := 140 \quad \psi := -45 \quad R_1 := 9 \quad R_2 := 11 \quad R_3 := 13 \quad R_4 := 15 \quad X_{L1} := 37 \quad X_{L2} := 27 \quad X_{L3} := 20$$

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

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

$$U = 98.995 - 98.995i$$

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



Символічний метод

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

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

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

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

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

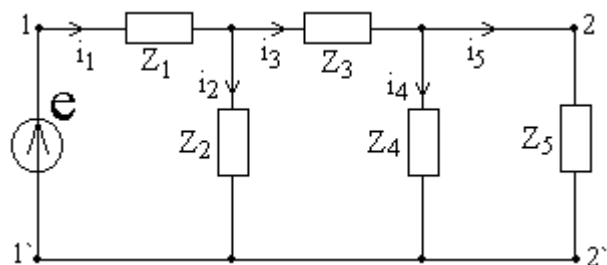
$$Z_1 = 9 - 13i$$

$$Z_2 = 11 + 27i$$

$$Z_3 = 13 + 27i$$

$$Z_4 = 15 - 6i$$

$$Z_5 = 20i$$



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

$$Z_{345} = 27.252 + 33.698i$$

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

$$Z_E = 17.514 + 2.416i$$

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

$$I_1 = 4.781 - 6.312i$$

$$F(I_1) = (7.919 \quad -52.856)$$

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

$$I_2 = 2.421 - 4.126i$$

$$F(I_2) = (4.783 \quad -59.599)$$

$$I_3 := I_1 - I_2$$

$$I_3 = 2.361 - 2.186i$$

$$F(I_3) = (3.218 \quad -42.803)$$

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

$$I_4 = 3.128 + 0.228i$$

$$F(I_4) = (3.137 \quad 4.172)$$

$$I_5 := I_3 - I_4$$

$$I_5 = -0.767 - 2.415i$$

$$F(I_5) = (2.534 \quad -107.63)$$

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 :

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

$$S_r = 1.098 \times 10^3 + 151.525i$$

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

$$P = 1.098 \times 10^3$$

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

$$Q = 151.525i$$

Будуємо сумісну векторну діаграму струмів та топографічну діаграму напруг

Визначимо потенціали всіх точок позначених на схемі:

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

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

$$\phi_a = -82.058 - 62.159i$$

$$F(\phi_a) = (102.943 \quad -142.856)$$

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

$$\phi_b = -55.431 - 107.542i$$

$$F(\phi_b) = (120.987 \quad -117.268)$$

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

$$\phi_c = 55.962 - 42.186i$$

$$F(\phi_c) = (70.081 \quad -37.01)$$

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

$$\phi_1 = 98.995 - 98.995i$$

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

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

$$\phi_A = -2.842 \times 10^{-14} + 1.421i \times 10^{-14}$$

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

$$\phi_d = 77.13 - 122.604i$$

$$F(\phi_d) = (144.848 \quad -57.826)$$

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

$$\phi_e = 107.822 - 151.028i$$

$$F(\phi_e) = (185.567 \quad -54.476)$$

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

$$\phi_k = 109.191 - 169.798i$$

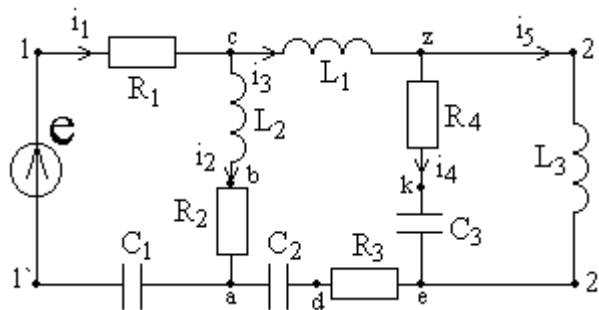
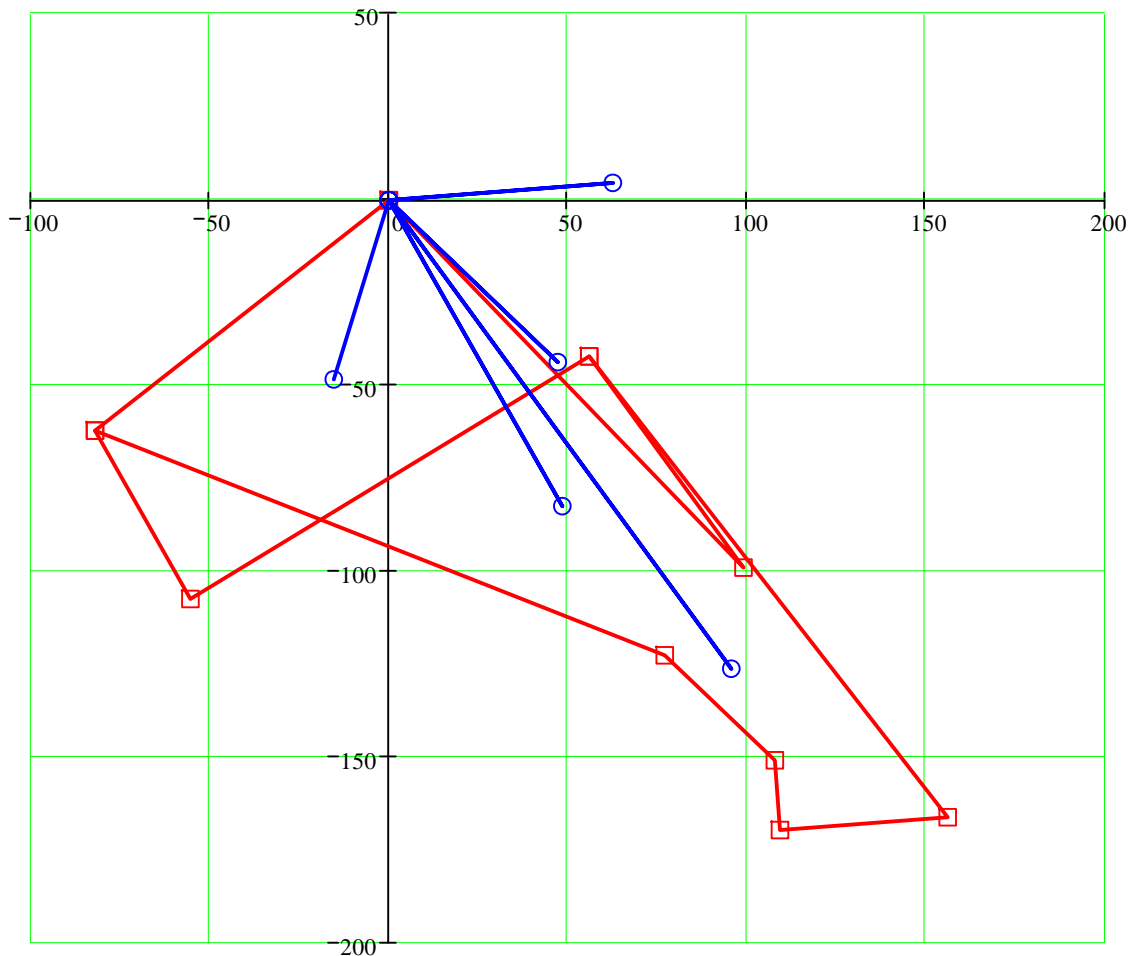
$$F(\phi_k) = (201.876 \quad -57.256)$$

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

$$\phi_z = 156.115 - 166.375i$$

$$F(\phi_z) = (228.15 \quad -46.822)$$

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.

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

$$Z_3 = 13 + 27i$$

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

$$Z_4 = 13 - 6i$$

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

$$Z_5 = 20i$$

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

$$Z_E = 27.247 + 31.658i$$

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

$$R_E = 27.247$$

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

$$X_E = 31.658$$

Умова резонансу струмів на ділянці "ab" :

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

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

$$B_2 = -0.018$$

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

$$X_2 = -55.108$$

Розрахувати струми для резонансного стану кола

$$\begin{aligned} Z_1 &:= R_1 - X_{C1} \cdot i & Z_1 &= 9 - 13i \\ Z_3 &:= R_3 + X_{L1} \cdot i - X_{C2} \cdot i & Z_3 &= 13 + 27i \\ Z_4 &:= R_4 - X_{C3} \cdot i & Z_4 &= 15 - 6i \\ Z_5 &:= X_{L3} \cdot i & Z_5 &= 20i \end{aligned}$$

$$Z_{345} := \frac{Z_4 \cdot Z_5}{Z_4 + Z_5} + Z_3 \quad Z_{345} = 27.252 + 33.698i$$

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

$$Z_{VX}(X_N) \left| \begin{array}{l} \text{complex} \\ \text{simplify} \end{array} \right. \rightarrow 2 \cdot \frac{(127683 \cdot X_N + 7631 \cdot X_N^2 + 3558321 + 210938 \cdot i \cdot X_N + 4357 \cdot i \cdot X_N^2 - 5139797 \cdot i)}{(790738 + 28374 \cdot X_N + 421 \cdot X_N^2)}$$

$$X_N := \text{Im}(Z_{VX}(X_N)) \left| \begin{array}{l} \text{complex} \\ \text{solve, } X_N \rightarrow \\ \text{float, 20} \end{array} \right. \left(\begin{array}{c} 17.812643242528992885 \\ -66.226230573261148037 \end{array} \right) \quad X_N := \begin{pmatrix} X_{N0} \\ X_{N1} \end{pmatrix}$$

Отже резонанс кола буде при таких активних опорах у другій вітці: $X_N = \begin{pmatrix} 17.813 \\ -66.226 \end{pmatrix}$

$$X_n := X_{N0} \quad X_n = 17.813 \quad Z_{VX}(X_n) = 11.546$$

$$I_1 := \frac{U}{Z_{VX}(X_n)} \quad I_1 = 8.574 - 8.574i \quad F(I_1) = (12.125 \quad -45)$$

$$I_2 := I_1 \cdot \frac{Z_{345}}{Z_{345} + i \cdot X_n} \quad I_2 = 5.032 - 7.483i \quad F(I_2) = (9.017 \quad -56.081)$$

$$I_3 := I_1 - I_2 \quad I_3 = 3.542 - 1.091i \quad F(I_3) = (3.706 \quad -17.119)$$

$$I_4 := I_3 \cdot \frac{Z_5}{Z_4 + Z_5} \quad I_4 = 3.133 + 1.798i \quad F(I_4) = (3.613 \quad 29.856)$$

$$I_5 := I_3 - I_4 \quad I_5 = 0.409 - 2.889i \quad F(I_5) = (2.918 \quad -81.945)$$

$$S_1 := U \cdot \overline{I_1} \quad S_1 = 1.698 \times 10^3$$

$$P := (|I_1|)^2 \cdot R_1 + (|I_3|)^2 \cdot R_3 + (|I_4|)^2 \cdot R_4 \quad P = 1.698 \times 10^3$$

$$Q := (|I_1|)^2 \cdot (-X_{C1}) + (|I_2|)^2 \cdot X_n + (|I_3|)^2 \cdot (X_{L1} - X_{C2}) + (|I_4|)^2 \cdot (-X_{C3}) + (|I_5|)^2 \cdot X_{L3} \quad Q = 5.684 \times 10^{-14}$$

При $X_n := X_{N1} \quad X_n = -66.226 \quad Z_{VX}(X_n) = 75.376$

$$I_1 := \frac{U}{Z_{VX}(X_n)} \quad I_1 = 1.313 - 1.313i \quad F(I_1) = (1.857 \quad -45)$$

$$I_2 := I_1 \cdot \frac{Z_{345}}{Z_{345} + i \cdot X_n} \quad I_2 = 1.059 + 1.574i \quad F(I_2) = (1.897 \quad 56.081)$$

$$I_3 := I_1 - I_2 \quad I_3 = 0.255 - 2.887i \quad F(I_3) = (2.899 \quad -84.956)$$

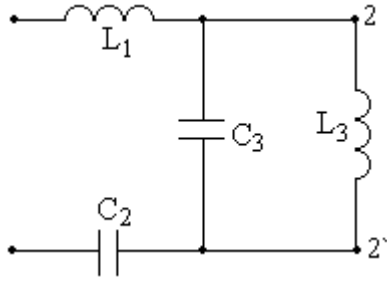
$$I_4 := I_3 \cdot \frac{Z_5}{Z_4 + Z_5} \quad I_4 = 2.227 - 1.739i \quad F(I_4) = (2.825 \quad -37.981)$$

$$I_5 := I_3 - I_4 \quad I_5 = -1.972 - 1.149i \quad F(I_5) = (2.282 \quad -149.783)$$

$$S_1 := U \cdot \overline{I_1} \quad S_1 = 260.031 \quad P := (|I_1|)^2 \cdot R_1 + (|I_3|)^2 \cdot R_3 + (|I_4|)^2 \cdot R_4 \quad P = 260.031$$

$$Q := (|I_1|)^2 \cdot (-X_{C1}) + (|I_2|)^2 \cdot X_n + (|I_3|)^2 \cdot (X_{L1} - X_{C2}) + (|I_4|)^2 \cdot (-X_{C3}) + (|I_5|)^2 \cdot X_{L3} \quad Q = 1.421 \times 10^{-13}$$

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



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

$$L_1 = 0.118$$

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

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

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

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

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

$$L_3 = 0.064$$

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

Знаходимо нулі: $Z(p) = 0$

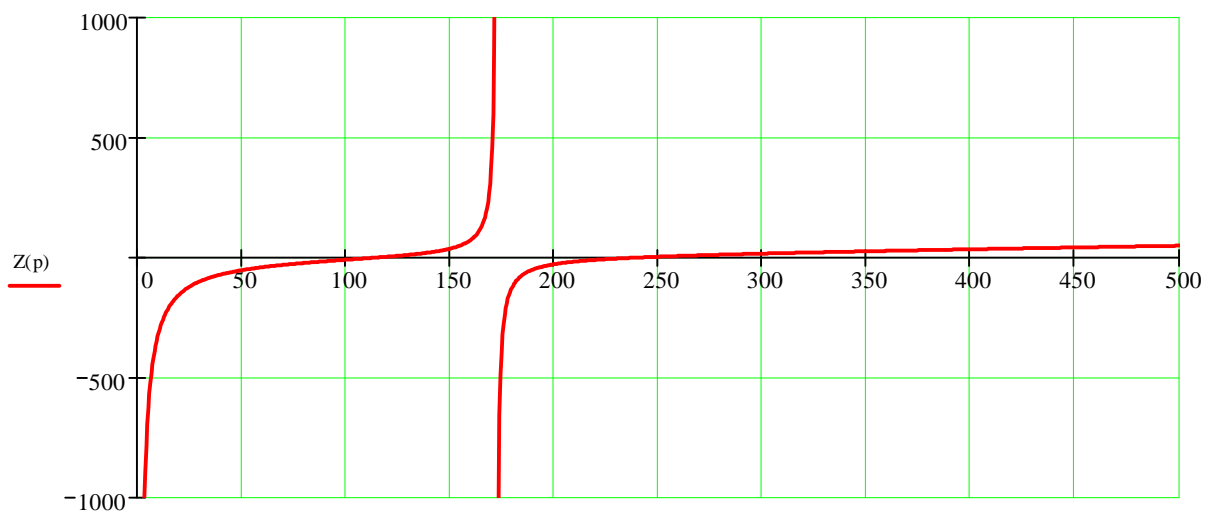
$$w_1 := Z(p) \left| \begin{array}{l} \text{solve, } p \\ \text{float, } 3 \end{array} \right. \rightarrow \begin{pmatrix} 242. \\ -242. \\ 116. \\ -116. \end{pmatrix}$$

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

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

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

$$Z_3 = 13 - 10i$$

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

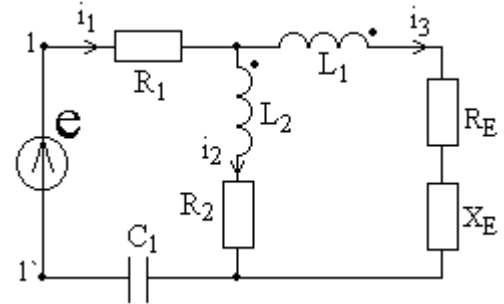
$$Z_4 = 15 - 6i$$

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

$$Z_5 = 20i$$

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

$$Z_{345} = 27.252 - 3.302i$$



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

$$R_E = 27.252$$

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

$$X_E = -3.302$$

Знайдемо контурні та міжконтурні опори схеми:

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

$$Z_{11} = 20 + 14i$$

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

$$Z_{22} = 38.252 + 90.698i$$

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

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

$$Z_{12} = 11 + 42i$$

$$U = 98.995 - 98.995i$$

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

Given

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

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

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

$$I_2 := I_1 - I_3$$

$$I_1 = 6.591 - 3.692i$$

$$F(I_1) = (7.555 \quad -29.26)$$

$$I_2 = 3.481 - 2.495i$$

$$F(I_2) = (4.283 \quad -35.624)$$

$$I_3 = 3.109 - 1.198i$$

$$F(I_3) = (3.332 \quad -21.069)$$

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

$$I_4 = 2.922 + 1.419i$$

$$F(I_4) = (3.248 \quad 25.906)$$

$$I_5 := I_3 - I_4$$

$$I_5 = 0.188 - 2.617i$$

$$F(I_5) = (2.624 \quad -85.895)$$

Баланс потужностей електричного кола :

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

$$S_r = 1.018 \times 10^3 - 286.907i$$

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

$$P_r = 1.018 \times 10^3$$

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

$$Q_r = -286.907$$

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

$$S_{M1} = -53.796 + 207.19i$$

$$F(S_{M1}) = (214.06 \quad 104.555)$$

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

$$S_{M2} = 53.796 + 207.19i$$

$$F(S_{M2}) = (214.06 \quad 75.445)$$

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

$$S_{KC} = 1.018 \times 10^3 - 286.907i$$

Визначимо потенціали всіх точок позначених на схемі:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$\phi_a = -48.002 - 85.678i$$

$$\phi_b = -9.707 - 113.119i$$

$$\phi_{c'} = 57.647 - 19.123i$$

$$\phi_c = 39.679 - 65.763i$$

$$\phi_1 = 98.995 - 98.995i$$

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

$$\phi_k = -51.957 - 95.944i$$

$$\phi_m = 32.778 - 128.588i$$

$$\phi_{m'} = -4.641 - 180.808i$$

$$\phi_c = 39.679 - 65.763i$$

$$F(\phi_a) = (98.209 \quad -119.26)$$

$$F(\phi_b) = (113.535 \quad -94.905)$$

$$F(\phi_{c'}) = (60.736 \quad -18.352)$$

$$F(\phi_c) = (76.806 \quad -58.895)$$

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

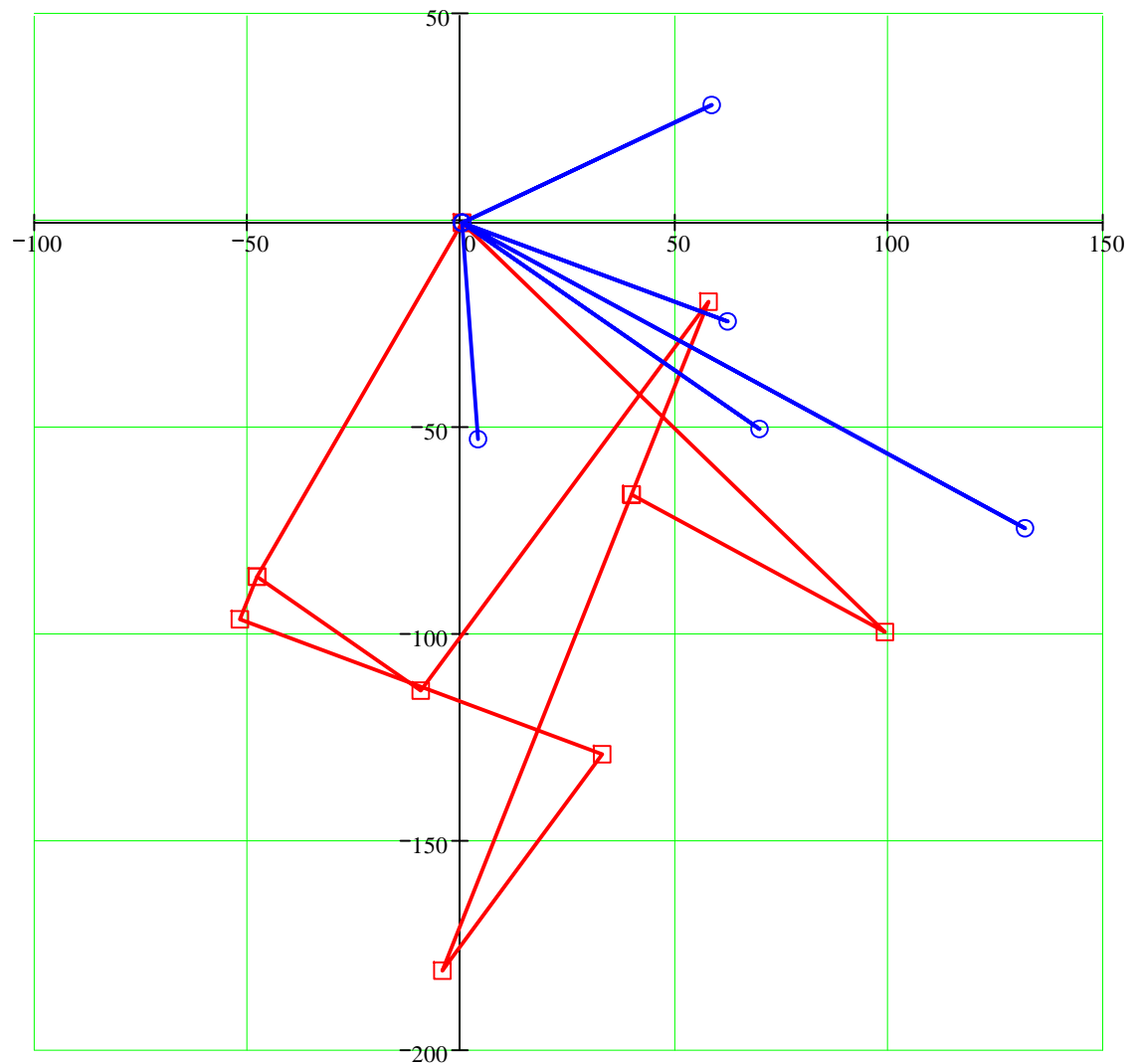
$$F(\phi_k) = (109.109 \quad -118.437)$$

$$F(\phi_m) = (132.7 \quad -75.7)$$

$$F(\phi_{m'}) = (180.867 \quad -91.47)$$

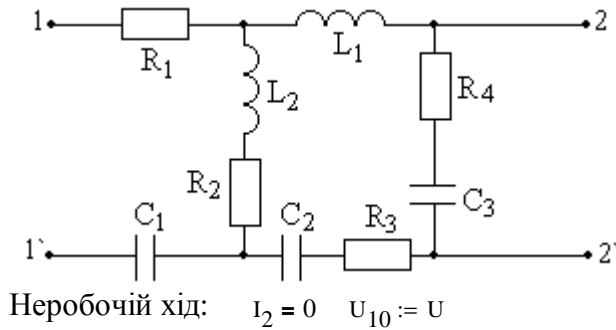
$$F(\phi_c) = (76.806 \quad -58.895)$$

Суміщена векторна діаграма струмів і топографічна діаграма напруг:



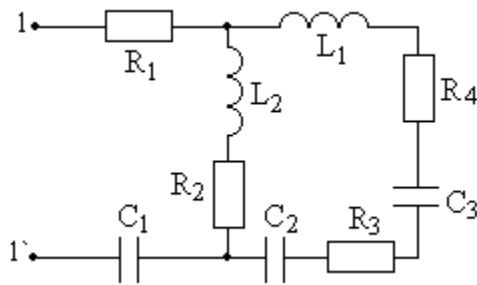
ВІДКИНУВШИ ВІТКУ МІЖ ЗАТИСКАЧАМИ 2-2", ВИКОНАТИ ЕКВІВАЛЕНТУВАННЯ
ВЗАЄМОІНДУКТИВНИХ ЗВ'ЯЗКІВ ВІТОК. ОДЕРЖАНУ СХЕМУ РОЗГЛЯДАТИ ЯК
ЧОТИРИПОЛЮСНИК З ЗАТИСКАЧАМИ 1-1" ТА 2-2" :

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



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

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



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

$$Z_1 = 9 + 2i$$

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

$$Z_2 = 11 + 12i$$

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

$$Z_3 = 28 + 6i$$

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

$$Z_{10} = 17.911 + 8.195i$$

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

$$Z_{20} = 33.57 + 8.601i$$

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

$$I_{10} = 2.479 - 6.662i$$

$$F(I_{10}) = (7.108 \quad -69.587)$$

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

$$I_{30} = 1.842 - 1.966i$$

$$F(I_{30}) = (2.694 \quad -46.872)$$

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

$$U_{20} = 15.827 - 40.54i$$

$$F(U_{20}) = (43.52 \quad -68.674)$$

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

$$A = 2.946 + 1.292i$$

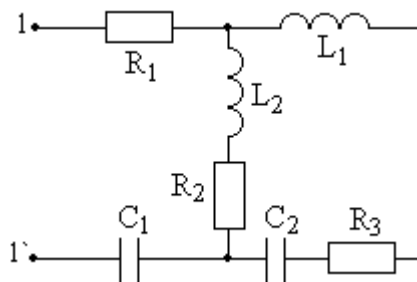
$$F(A) = (3.217 \quad 23.674)$$

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

$$C = 0.163 - 2.602i \times 10^{-3}$$

$$F(C) = (0.163 \quad -0.913)$$

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



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

$$Z_1 = 9 + 2i$$

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

$$Z_2 = 11 + 12i$$

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

$$Z_3 = 13 + 12i$$

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

$$Z_K = 14.979 + 8.021i$$

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

$$I_{1K} = 2.386 - 7.886i$$

$$F(I_{1K}) = (8.239 \quad -73.168)$$

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

$$I_{2K} = 1.308 - 3.729i$$

$$F(I_{2K}) = (3.952 \quad -70.678)$$

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

$$B = 31.928 + 15.351i$$

$$F(B) = (35.427 \quad 25.678)$$

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

$$D = 2.083 - 0.091i$$

$$F(D) = (2.085 \quad -2.49)$$

Перевірка

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

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

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

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

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

$$U_1 = 222.493 + 274.526i$$

$$F(U_1) = (353.366 \ 50.976)$$

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

$$I_1 = 16.356 + 7.849i$$

$$F(I_1) = (18.142 \ 25.637)$$

Перевірка:

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

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

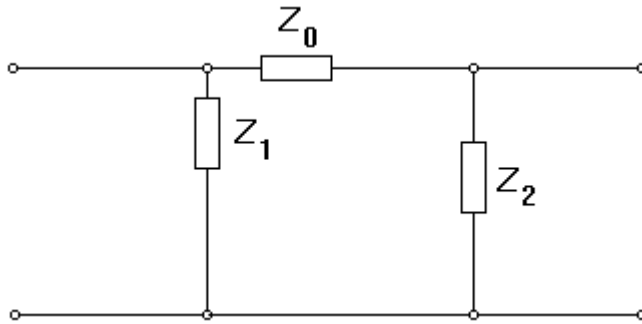
$$U_2 := \frac{I_1 - I_2 \cdot D}{C}$$

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

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

$$F(I_2) = (1 \ -3.028 \times 10^{-14})$$

Розрахувати параметри віток схеми П заміщення;



$$Z_0 := B$$

$$Z_0 = 31.928 + 15.351i$$

$$F(Z_0) = (35.427 \ 25.678)$$

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

$$Y_1 = 0.026 - 0.016i$$

$$F(Y_1) = (0.031 \ -30.458)$$

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

$$Y_2 = 0.065 + 9.056i \times 10^{-3}$$

$$F(Y_2) = (0.066 \ 7.894)$$

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

$$R_0 = 31.928$$

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

$$X_{L0} = 15.351$$

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

$$Z_1 = 28.099 + 16.524i$$

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

$$R_1 = 28.099$$

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

$$X_{L1} = 16.524$$

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

$$Z_2 = 15.023 - 2.083i$$

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

$$R_2 = 15.023$$

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

$$X_{C2} = 2.083$$

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

$$L_1 = 0.053$$

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

$$C_2 = 1.528 \times 10^{-3}$$

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

$$L_0 = 0.049$$