

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

Розрахунково-графічна робота
“Розрахунок однофазного кола синусоїдного струму”
Варіант № 409

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.

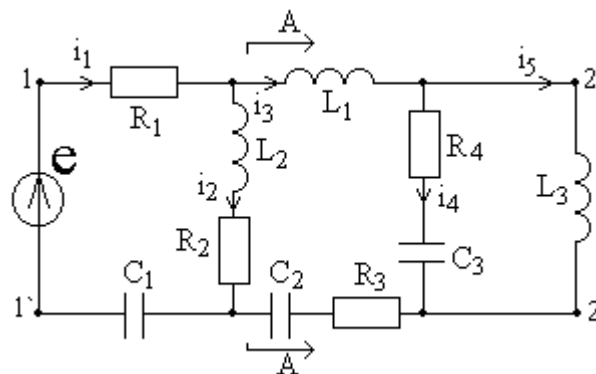
$$E := 160 \quad \psi := -60 \quad R_1 := 11 \quad R_2 := 13 \quad R_3 := 15 \quad R_4 := 17 \quad X_{L1} := 37 \quad X_{L2} := 27 \quad X_{L3} := 20$$

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

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

$$U = 80 - 138.564i$$

$$F(U) = (160 \quad -60)$$



Символічний метод

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

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

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

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

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

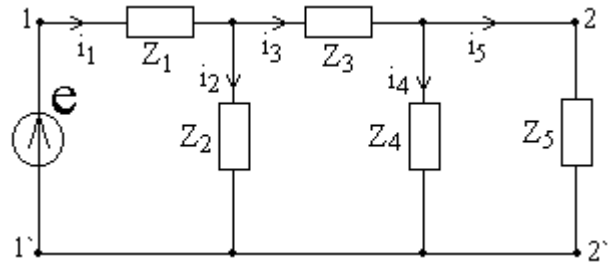
$$Z_1 = 11 - 13i$$

$$Z_2 = 13 + 27i$$

$$Z_3 = 15 + 27i$$

$$Z_4 = 17 - 6i$$

$$Z_5 = 20i$$



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

$$Z_{345} = 29.021 + 35.454i$$

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

$$Z_E = 20.415 + 2.622i$$

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

$$I_1 = 2.998 - 7.172i$$

$$F(I_1) = (7.773 \quad -67.317)$$

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

$$I_2 = 1.408 - 4.517i$$

$$F(I_2) = (4.731 \quad -72.686)$$

$$I_3 := I_1 - I_2$$

$$I_3 = 1.59 - 2.655i$$

$$F(I_3) = (3.095 \quad -59.093)$$

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

$$I_4 = 2.779 - 0.419i$$

$$F(I_4) = (2.81 \quad -8.566)$$

$$I_5 := I_3 - I_4$$

$$I_5 = -1.19 - 2.237i$$

$$F(I_5) = (2.533 \quad -118.006)$$

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 :

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

$$S_r = 1.234 \times 10^3 + 158.408i$$

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

$$P = 1.234 \times 10^3$$

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

$$Q = 158.408i$$

Будуємо сумісну векторну діаграму струмів та топографічну діаграму напруг

Визначимо потенціали всіх точок позначених на схемі:

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

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

$$\phi_a = -93.238 - 38.969i$$

$$F(\phi_a) = (101.054 \quad -157.317)$$

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

$$\phi_b = -74.932 - 97.69i$$

$$F(\phi_b) = (123.118 \quad -127.49)$$

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

$$\phi_c = 47.026 - 59.67i$$

$$F(\phi_c) = (75.974 \quad -51.758)$$

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

$$\phi_1 = 80 - 138.564i$$

$$F(\phi_1) = (160 \quad -60)$$

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

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

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

$$\phi_d = 53.448 - 154.459i$$

$$F(\phi_d) = (163.445 \quad -70.913)$$

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

$$\phi_e = 77.291 - 194.287i$$

$$F(\phi_e) = (209.096 \quad -68.306)$$

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

$$\phi_k = 74.779 - 210.961i$$

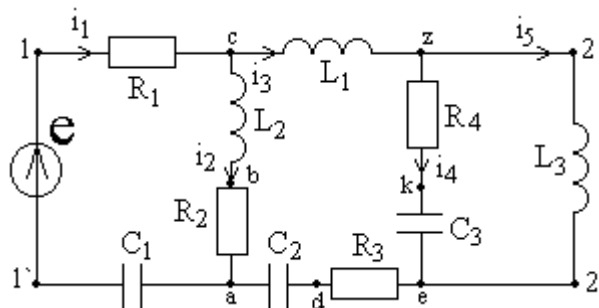
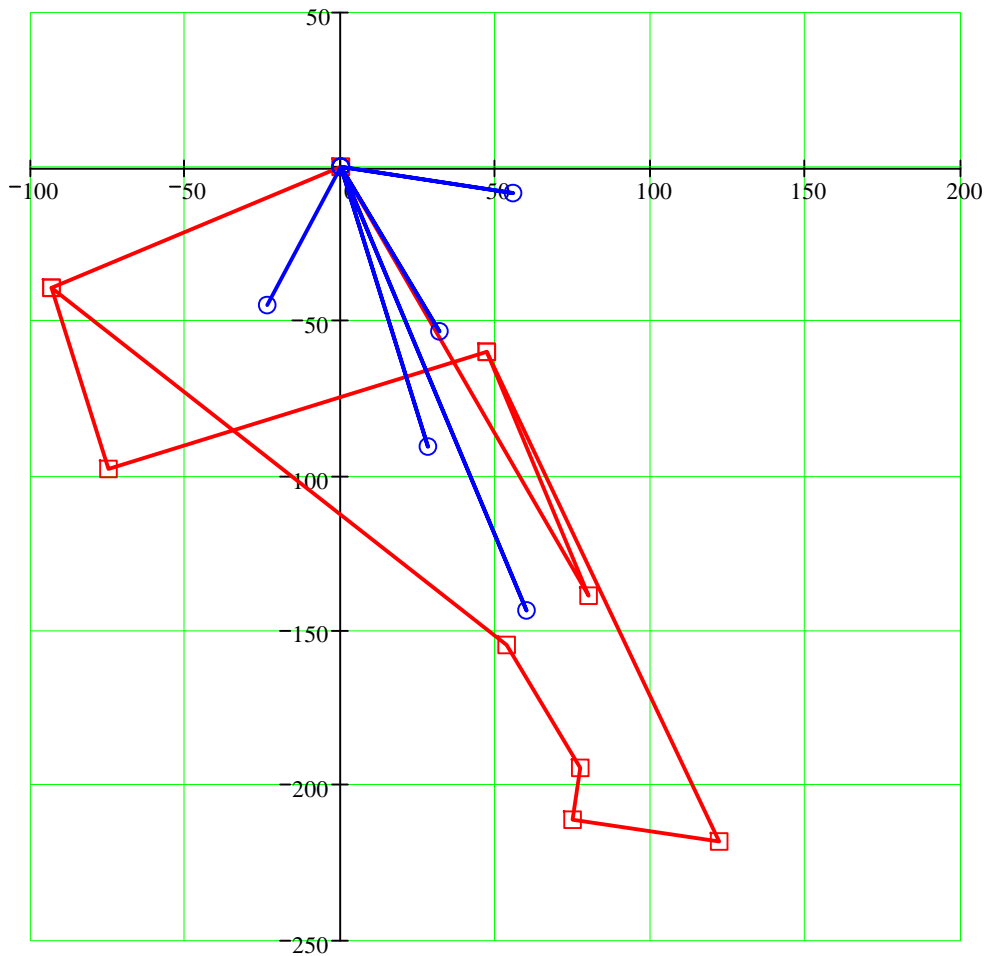
$$F(\phi_k) = (223.822 \quad -70.482)$$

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

$$\phi_z = 122.022 - 218.077i$$

$$F(\phi_z) = (249.894 \quad -60.771)$$

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.

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

$$Z_3 = 15 + 27i$$

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

$$Z_4 = 15 - 6i$$

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

$$Z_5 = 20i$$

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

$$Z_E = 29.252 + 33.698i$$

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

$$R_E = 29.252$$

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

$$X_E = 33.698$$

Умова резонансу струмів на ділянці "ab" :

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

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

$$B_2 = -0.017$$

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

$$X_2 = -59.09$$

Розрахувати струми для резонансного стану кола

$$\begin{aligned} Z_1 &:= R_1 - X_{C1} \cdot i & Z_1 &= 11 - 13i \\ Z_3 &:= R_3 + X_{L1} \cdot i - X_{C2} \cdot i & Z_3 &= 15 + 27i \\ Z_4 &:= R_4 - X_{C3} \cdot i & Z_4 &= 17 - 6i \\ Z_5 &:= X_{L3} \cdot i & Z_5 &= 20i \end{aligned}$$

$$Z_{345} := \frac{Z_4 \cdot Z_5}{Z_4 + Z_5} + Z_3 \quad Z_{345} = 29.021 + 35.454i$$

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

$$Z_{VX}(X_N) \left| \begin{array}{l} \text{complex} \\ \text{simplify} \end{array} \right. \rightarrow 2 \cdot \frac{(37829 \cdot X_N + 1941 \cdot X_N^2 + 1119899 + 57102 \cdot i \cdot X_N + 1089 \cdot i \cdot X_N^2 - 1323517 \cdot i)}{(203618 + 6878 \cdot X_N + 97 \cdot X_N^2)}$$

$$X_N := \text{Im}(Z_{VX}(X_N)) \left| \begin{array}{l} \text{complex} \\ \text{solve, } X_N \rightarrow \\ \text{float, 20} \end{array} \right. \left(\begin{array}{c} 17.402490055156169449 \\ -69.837751763145150165 \end{array} \right) \quad X_N := \begin{pmatrix} X_{N0} \\ X_{N1} \end{pmatrix}$$

Отже резонанс кола буде при таких активних опорах у другій вітці: $X_N = \begin{pmatrix} 17.402 \\ -69.838 \end{pmatrix}$

$$X_n := X_{N0} \quad X_n = 17.402 \quad Z_{VX}(X_n) = 13.417$$

$$I_1 := \frac{U}{Z_{VX}(X_n)} \quad I_1 = 5.963 - 10.327i \quad F(I_1) = (11.925 \quad -60)$$

$$I_2 := I_1 \cdot \frac{Z_{345}}{Z_{345} + i \cdot X_n} \quad I_2 = 3.02 - 8.543i \quad F(I_2) = (9.061 \quad -70.533)$$

$$I_3 := I_1 - I_2 \quad I_3 = 2.943 - 1.784i \quad F(I_3) = (3.442 \quad -31.231)$$

$$I_4 := I_3 \cdot \frac{Z_5}{Z_4 + Z_5} \quad I_4 = 2.95 + 1.033i \quad F(I_4) = (3.125 \quad 19.297)$$

$$I_5 := I_3 - I_4 \quad I_5 = -7.057 \times 10^{-3} - 2.817i \quad F(I_5) = (2.817 \quad -90.144)$$

$$S_1 := U \cdot \overline{I_1} \quad S_1 = 1.908 \times 10^3$$

$$P := (|I_1|)^2 \cdot R_1 + (|I_3|)^2 \cdot R_3 + (|I_4|)^2 \cdot R_4 \quad P = 1.908 \times 10^3$$

$$Q := (|I_1|)^2 \cdot (-X_{C1}) + (|I_2|)^2 \cdot X_n + (|I_3|)^2 \cdot (X_{L1} - X_{C2}) + (|I_4|)^2 \cdot (-X_{C3}) + (|I_5|)^2 \cdot X_{L3} \quad Q = -5.969 \times 10^{-13}$$

При $X_n := X_{N1} \quad X_n = -69.838 \quad Z_{VX}(X_n) = 80.916$

$$I_1 := \frac{U}{Z_{VX}(X_n)} \quad I_1 = 0.989 - 1.712i \quad F(I_1) = (1.977 \quad -60)$$

$$I_2 := I_1 \cdot \frac{Z_{345}}{Z_{345} + i \cdot X_n} \quad I_2 = 1.53 + 1.309i \quad F(I_2) = (2.014 \quad 40.533)$$

$$I_3 := I_1 - I_2 \quad I_3 = -0.542 - 3.021i \quad F(I_3) = (3.069 \quad -100.165)$$

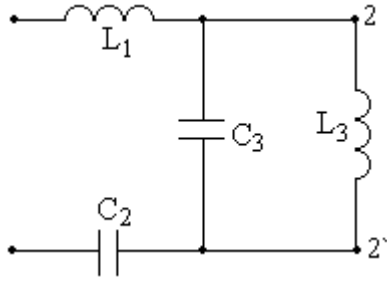
$$I_4 := I_3 \cdot \frac{Z_5}{Z_4 + Z_5} \quad I_4 = 1.805 - 2.124i \quad F(I_4) = (2.787 \quad -49.637)$$

$$I_5 := I_3 - I_4 \quad I_5 = -2.347 - 0.897i \quad F(I_5) = (2.512 \quad -159.077)$$

$$S_1 := U \cdot \overline{I_1} \quad S_1 = 316.377 \quad P := (|I_1|)^2 \cdot R_1 + (|I_3|)^2 \cdot R_3 + (|I_4|)^2 \cdot R_4 \quad P = 316.377$$

$$Q := (|I_1|)^2 \cdot (-X_{C1}) + (|I_2|)^2 \cdot X_n + (|I_3|)^2 \cdot (X_{L1} - X_{C2}) + (|I_4|)^2 \cdot (-X_{C3}) + (|I_5|)^2 \cdot X_{L3} \quad Q = 8.527 \times 10^{-14}$$

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



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

$$L_1 = 0.118$$

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

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

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

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

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

$$L_3 = 0.064$$

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

Знаходимо нулі: $Z(p) = 0$

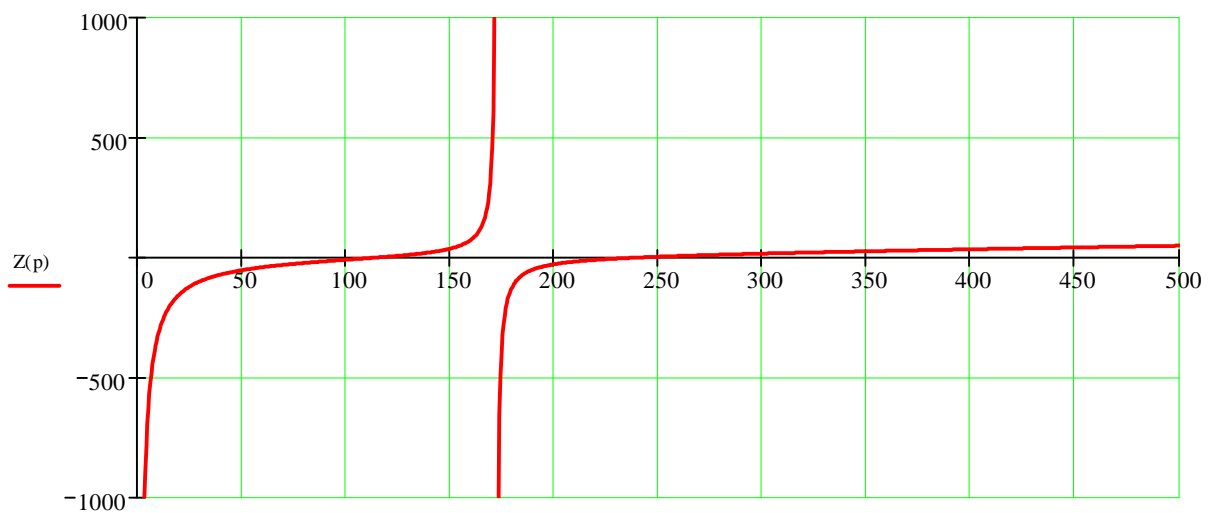
$$w_1 := Z(p) \left| \begin{array}{l} \text{solve, } p \\ \text{float, } 3 \end{array} \right. \rightarrow \begin{pmatrix} 242. \\ -242. \\ 116. \\ -116. \end{pmatrix}$$

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

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

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

$$Z_3 = 15 - 10i$$

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

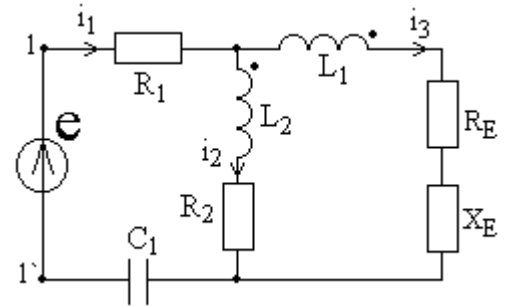
$$Z_4 = 17 - 6i$$

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

$$Z_5 = 20i$$

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

$$Z_{345} = 29.021 - 1.546i$$



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

$$R_E = 29.021$$

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

$$X_E = -1.546$$

Знайдемо контурні та міжконтурні опори схеми:

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

$$Z_{11} = 24 + 14i$$

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

$$Z_{22} = 42.021 + 92.454i$$

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

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

$$Z_{12} = 13 + 42i$$

$$U = 80 - 138.564i$$

$$F(U) = (160 \quad -60)$$

Given

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

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

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

$$I_2 := I_1 - I_3$$

$$I_1 = 5.127 - 5.515i$$

$$F(I_1) = (7.531 \quad -47.089)$$

$$I_2 = 2.624 - 3.427i$$

$$F(I_2) = (4.316 \quad -52.554)$$

$$I_3 = 2.503 - 2.089i$$

$$F(I_3) = (3.26 \quad -39.845)$$

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

$$I_4 = 2.909 + 0.549i$$

$$F(I_4) = (2.961 \quad 10.682)$$

$$I_5 := I_3 - I_4$$

$$I_5 = -0.406 - 2.638i$$

$$F(I_5) = (2.669 \quad -98.758)$$

Баланс потужностей електричного кола :

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

$$S_r = 1.174 \times 10^3 - 269.227i$$

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

$$P_r = 1.174 \times 10^3$$

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

$$Q_r = -269.227$$

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

$$S_{M1} = -46.434 + 205.896i$$

$$F(S_{M1}) = (211.067 \quad 102.709)$$

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

$$S_{M2} = 46.434 + 205.896i$$

$$F(S_{M2}) = (211.067 \quad 77.291)$$

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

$$S_{KC} = 1.174 \times 10^3 - 269.227i$$

Визначимо потенціали всіх точок позначених на схемі:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$\phi_a = -71.701 - 66.655i$$

$$\phi_b = -37.586 - 111.201i$$

$$\phi_{c'} = 54.932 - 40.347i$$

$$\phi_c = 23.599 - 77.894i$$

$$\phi_1 = 80 - 138.564i$$

$$\phi_A = -4.263 \times 10^{-14}$$

$$\phi_k = -74.931 - 70.526i$$

$$\phi_m = -2.289 - 131.146i$$

$$\phi_{m'} = -53.688 - 170.509i$$

$$\phi_c = 23.599 - 77.894i$$

$$F(\phi_a) = (97.898 \quad -137.089)$$

$$F(\phi_b) = (117.382 \quad -108.675)$$

$$F(\phi_{c'}) = (68.158 \quad -36.297)$$

$$F(\phi_c) = (81.39 \quad -73.145)$$

$$F(\phi_1) = (160 \quad -60)$$

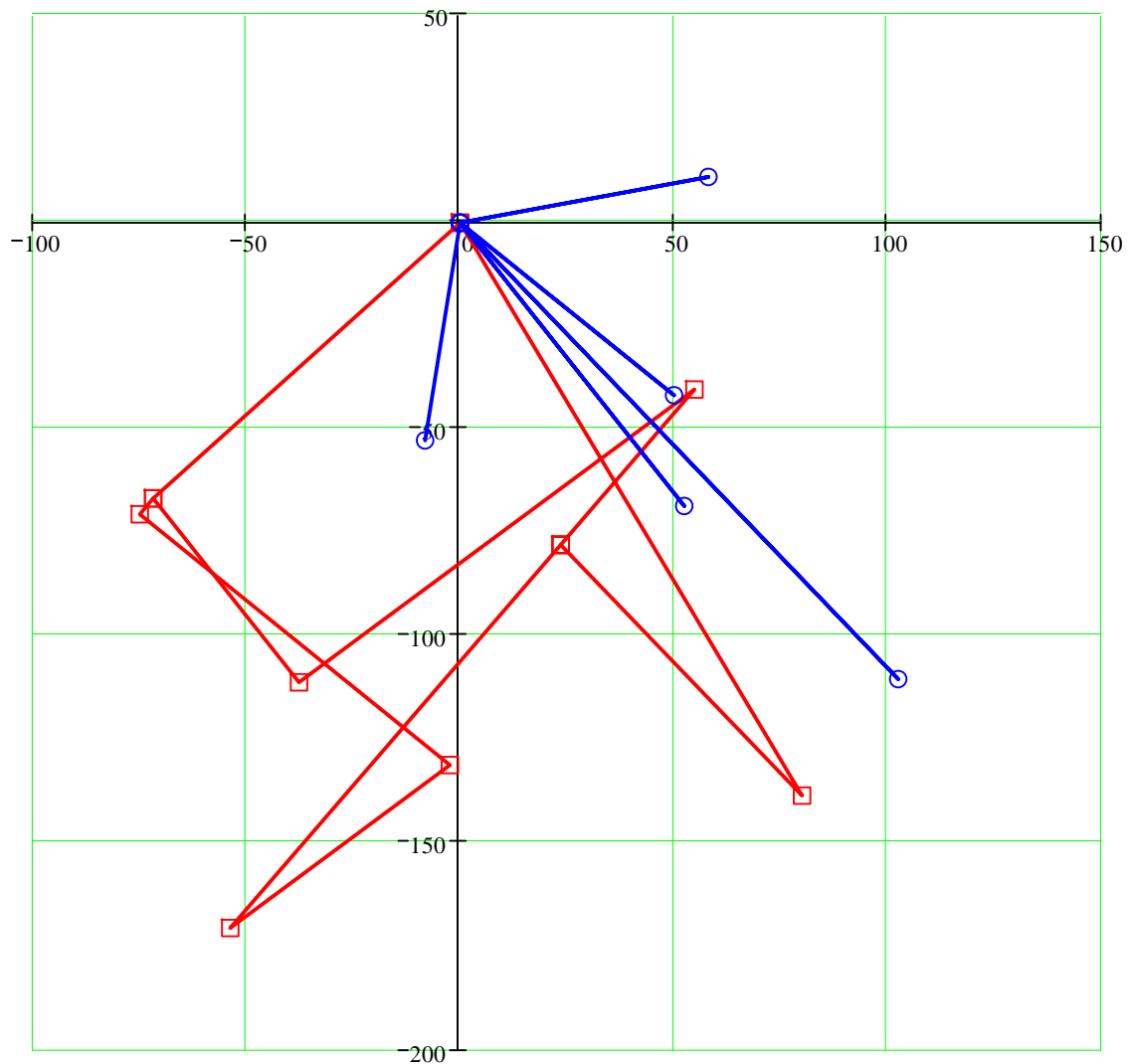
$$F(\phi_k) = (102.901 \quad -136.735)$$

$$F(\phi_m) = (131.166 \quad -91)$$

$$F(\phi_{m'}) = (178.762 \quad -107.478)$$

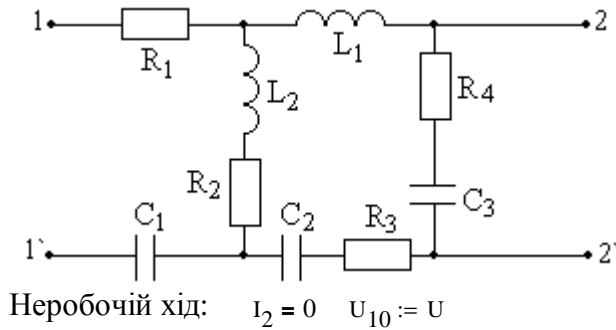
$$F(\phi_c) = (81.39 \quad -73.145)$$

Суміщена векторна діаграма струмів і топографічна діаграма напруг:



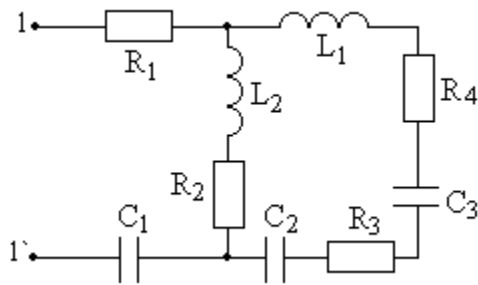
ВІДКИНУВШИ ВІТКУ МІЖ ЗАТИСКАЧАМИ 2-2", ВИКОНАТИ ЕКВІВАЛЕНТУВАННЯ
ВЗАЄМОІНДУКТИВНИХ ЗВ'ЯЗКІВ ВІТОК. ОДЕРЖАНУ СХЕМУ РОЗГЛЯДАТИ ЯК
ЧОТИРИПОЛЮСНИК З ЗАТИСКАЧАМИ 1-1" ТА 2-2" :

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



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

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



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

$$Z_1 = 11 + 2i$$

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

$$Z_2 = 13 + 12i$$

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

$$Z_3 = 32 + 6i$$

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

$$Z_{10} = 21.13 + 8.215i$$

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

$$Z_{20} = 38.565 + 8.754i$$

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

$$I_{10} = 1.074 - 6.975i$$

$$F(I_{10}) = (7.058 \quad -81.244)$$

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

$$I_{30} = 1.275 - 2.239i$$

$$F(I_{30}) = (2.576 \quad -60.336)$$

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

$$U_{20} = 8.244 - 45.706i$$

$$F(U_{20}) = (46.443 \quad -79.776)$$

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

$$A = 3.242 + 1.166i$$

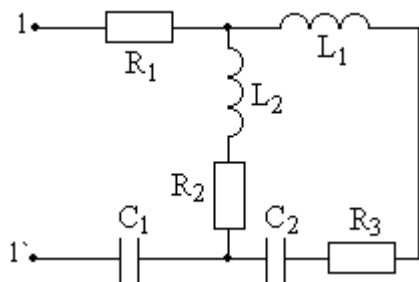
$$F(A) = (3.445 \quad 19.776)$$

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

$$C = 0.152 - 3.893i \times 10^{-3}$$

$$F(C) = (0.152 \quad -1.468)$$

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



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

$$Z_1 = 11 + 2i$$

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

$$Z_2 = 13 + 12i$$

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

$$Z_3 = 15 + 12i$$

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

$$Z_K = 17.979 + 8.018i$$

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

$$I_{1K} = 0.845 - 8.084i$$

$$F(I_{1K}) = (8.128 \quad -84.034)$$

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

$$I_{2K} = 0.548 - 3.86i$$

$$F(I_{2K}) = (3.899 \quad -81.926)$$

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

$$B = 38.067 + 15.323i$$

$$F(B) = (41.035 \quad 21.926)$$

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

$$D = 2.083 - 0.077i$$

$$F(D) = (2.084 \quad -2.108)$$

Перевірка

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

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

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

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

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

$$U_1 = 260.54 + 278.361i$$

$$F(U_1) = (381.269 \ 46.894)$$

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

$$I_1 = 15.433 + 7.182i$$

$$F(I_1) = (17.023 \ 24.954)$$

Перевірка:

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

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

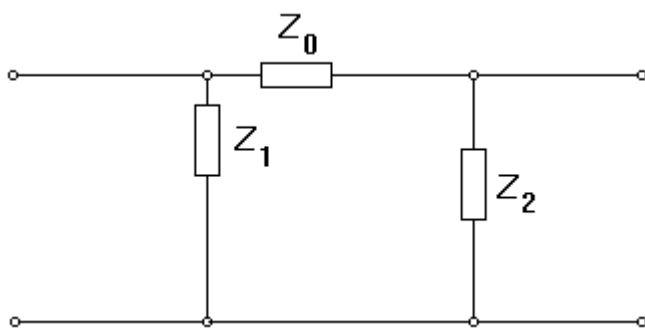
$$U_2 := \frac{I_1 - I_2 \cdot D}{C}$$

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

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

$$F(I_2) = (1 \ -8.983 \times 10^{-15})$$

Розрахувати параметри віток схеми П заміщення;



$$Z_0 := B$$

$$Z_0 = 38.067 + 15.323i$$

$$F(Z_0) = (41.035 \ 21.926)$$

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

$$Y_1 = 0.024 - 0.012i$$

$$F(Y_1) = (0.026 \ -25.975)$$

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

$$Y_2 = 0.061 + 5.951i \times 10^{-3}$$

$$F(Y_2) = (0.062 \ 5.546)$$

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

$$R_0 = 38.067$$

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

$$X_{L0} = 15.323$$

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

$$Z_1 = 33.976 + 16.553i$$

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

$$R_1 = 33.976$$

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

$$X_{L1} = 16.553$$

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

$$Z_2 = 16.164 - 1.569i$$

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

$$R_2 = 16.164$$

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

$$X_{C2} = 1.569$$

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

$$L_1 = 0.053$$

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

$$C_2 = 2.028 \times 10^{-3}$$

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

$$L_0 = 0.049$$