

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

Розрахунково-графічна робота
“Розрахунок однофазного кола синусоїдного струму”
Варіант № 352

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 А, В, С, D чотиріполюсника;
- 3.2. Розрахувати параметри R, L, C віток схеми заміщення.

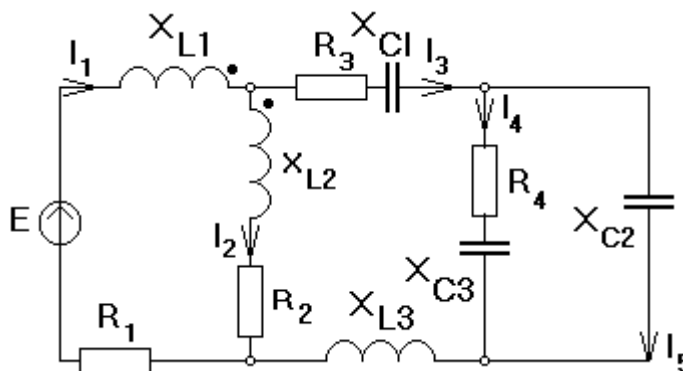
$$E := 140 \quad \psi := -45 \quad R_1 := 9 \quad R_2 := 11 \quad R_3 := 13 \quad R_4 := 15 \quad X_{L1} := 50 \quad X_{L2} := 40 \quad X_{L3} := 35$$

$$X_{C1} := 20 \quad X_{C2} := 15 \quad X_{C3} := 12 \quad X_M := 30 \quad f := 100$$

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

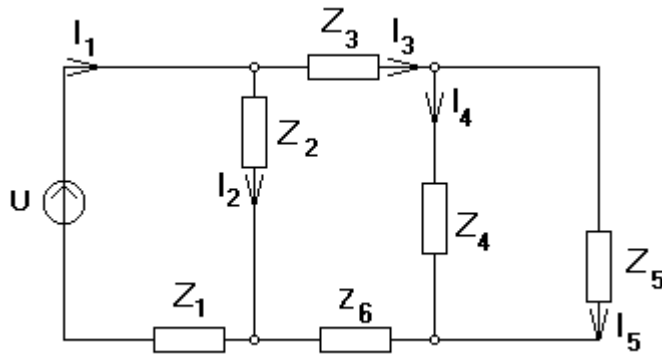
$$U = 98.995 - 98.995i$$

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



Для электричного кола без взаємної індукції:

Розрахувати всі струми символьним методом



$$\begin{aligned} Z_1 &:= R_1 + i \cdot X_{L1} \rightarrow 9 + 50 \cdot i \\ Z_2 &:= R_2 + i \cdot X_{L2} \rightarrow 11 + 40 \cdot i \\ Z_3 &:= R_3 - i \cdot X_{C1} \rightarrow 13 - 20 \cdot i \\ Z_4 &:= R_4 - i \cdot X_{C3} \rightarrow 15 - 12 \cdot i \\ Z_5 &:= -i \cdot X_{C2} \rightarrow -15 \cdot i \\ Z_6 &:= i \cdot X_{L3} \rightarrow 35 \cdot i \end{aligned}$$

$$Z_E := \frac{\left(\frac{Z_5 \cdot Z_4}{Z_5 + Z_4} + Z_3 + Z_6 \right) \cdot Z_2}{Z_2 + \frac{Z_5 \cdot Z_4}{Z_5 + Z_4} + Z_3 + Z_6} + Z_1 \quad Z_E = 19.974 + 58.088i$$

$$I_1 := \frac{U}{Z_E} \quad I_1 = -1 - 2.048i \quad F(I_1) = (2.279 \quad -116.024)$$

$$I_2 := \frac{I_1 \cdot \left(\frac{Z_5 \cdot Z_4}{Z_5 + Z_4} + Z_3 + Z_6 \right)}{Z_2 + \frac{Z_5 \cdot Z_4}{Z_5 + Z_4} + Z_3 + Z_6} \quad I_2 = -0.675 - 0.325i \quad F(I_2) = (0.749 \quad -154.259)$$

$$I_3 := \frac{I_1 \cdot Z_2}{\left(Z_2 + \frac{Z_5 \cdot Z_4}{Z_5 + Z_4} + Z_3 + Z_6 \right)} \quad I_3 = -0.325 - 1.723i \quad F(I_3) = (1.753 \quad -100.694)$$

$$I_4 := I_3 \cdot \frac{Z_5}{Z_5 + Z_4} \quad I_4 = -0.544 - 0.655i \quad F(I_4) = (0.851 \quad -129.749)$$

$$I_5 := I_3 \cdot \frac{Z_4}{Z_4 + Z_5} \quad I_5 = 0.219 - 1.068i \quad F(I_5) = (1.09 \quad -78.409)$$

Перевірка за першим законом Кіргофа: $I_1 - I_2 - I_3 = 0$ $I_3 - I_4 - I_5 = 0$ $I_2 + I_5 + I_4 - I_1 = 0$

Перевірка за другим законом Кіргофа:

$$-I_1 \cdot [R_1 + i \cdot (X_{L1})] + U - I_2 \cdot (R_2 + i \cdot X_{L2}) = 1.776 \times 10^{-15} + 1.066i \times 10^{-14}$$

$$I_2 \cdot (R_2 + i \cdot X_{L2}) - I_4 \cdot (R_4 - i \cdot X_{C3}) - I_3 \cdot (-i \cdot X_{C1} + i \cdot X_{L3} + R_3) = -3.553 \times 10^{-15} + 7.105i \times 10^{-15}$$

$$I_4 \cdot (R_4 - i \cdot X_{C3}) - I_5 \cdot (-i \cdot X_{C2}) = 0$$

Перевірка за балансом потужностей

$$S_1 := U \cdot \overline{I_1} \quad S_1 = 103.758 + 301.743i$$

$$P := (|I_1|)^2 \cdot R_1 + (|I_2|)^2 \cdot R_2 + (|I_3|)^2 \cdot R_3 + (|I_4|)^2 \cdot R_4 \quad P = 103.758$$

$$Q := (|I_1|)^2 \cdot (X_{L1}) + (|I_2|)^2 \cdot (X_{L2}) + (|I_3|)^2 \cdot (X_{L3} - X_{C1}) + (|I_4|)^2 \cdot (-X_{C3}) + (|I_5|)^2 \cdot (-X_{C2}) \quad Q = 301.743$$

Будуємо сумісну векторну діаграму струмів та топографічну діаграму напруг

Знаходимо потенціали точок:

$$\phi_a := 0$$

$$\phi_b := \phi_a + I_1 \cdot R_1 \quad \phi_b = -9 - 18.433i \quad F(\phi_b) = (20.513 \quad -116.024)$$

$$\phi_c := \phi_b + I_2 \cdot R_2 \quad \phi_c = -16.421 - 22.011i \quad F(\phi_c) = (27.461 \quad -126.724)$$

$$\phi_d := \phi_c + I_2 \cdot i \cdot X_{L2} \quad \phi_d = -3.41 - 48.996i \quad F(\phi_d) = (49.115 \quad -93.981)$$

$$\phi_1 := \phi_d + I_1 \cdot i \cdot X_{L1} \quad \phi_1 = 98.995 - 98.995i \quad F(\phi_1) = (140 \quad -45)$$

$$\phi_{1'} := \phi_1 - U \quad \phi_{1'} = -1.421i \times 10^{-14}$$

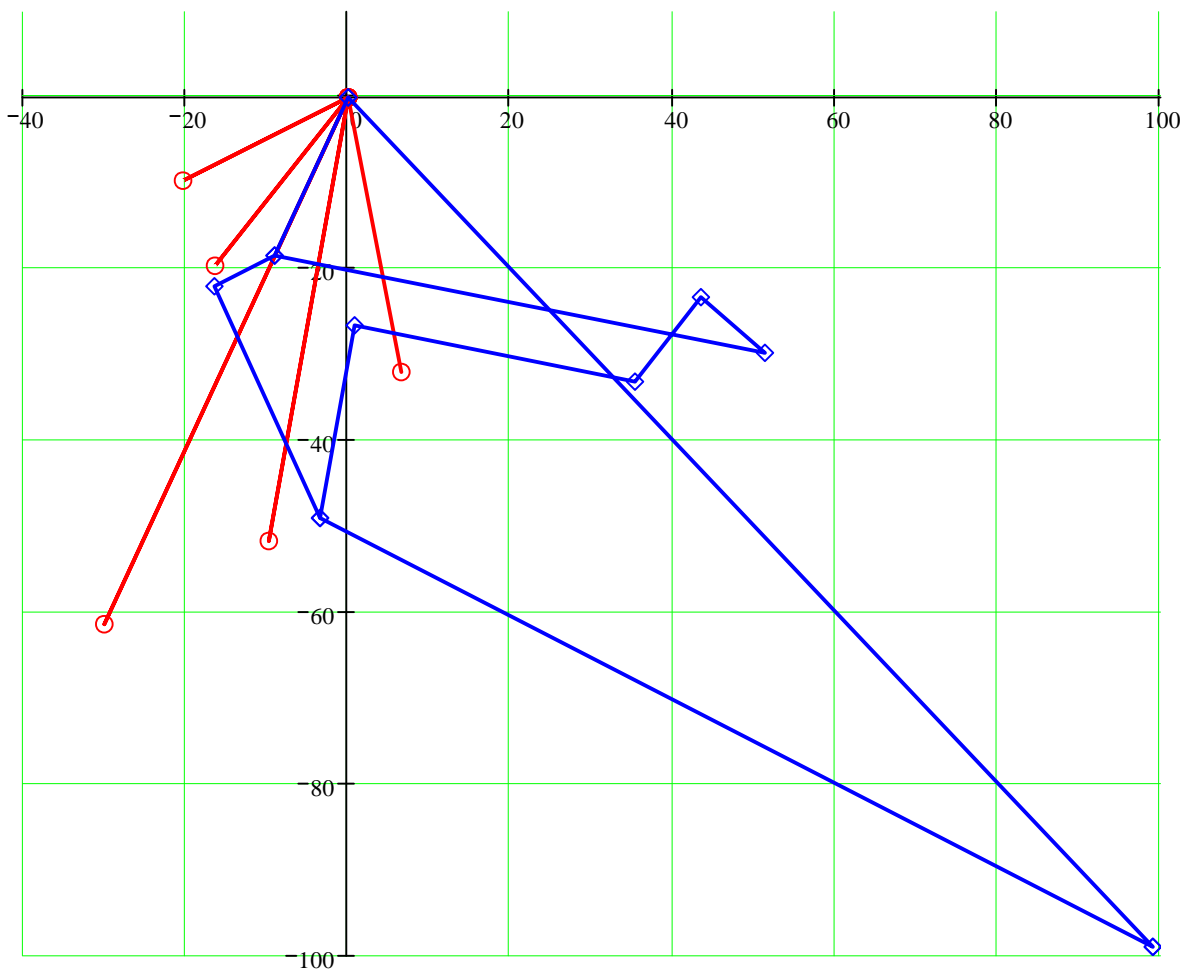
$$\phi_e := \phi_b + I_3 \cdot i \cdot X_{L3} \quad \phi_e = 51.299 - 29.82i \quad F(\phi_e) = (59.336 \quad -30.17)$$

$$\phi_m := \phi_e + I_4 \cdot (-i \cdot X_{C3}) \quad \phi_m = 43.443 - 23.287i \quad F(\phi_m) = (49.29 \quad -28.193)$$

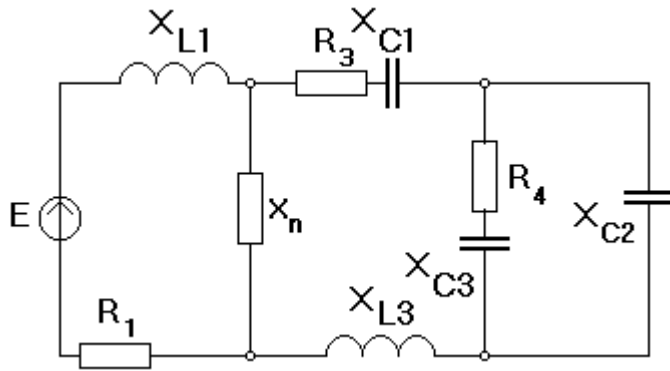
$$\phi_n := \phi_m + I_4 \cdot R_4 \quad \phi_n = 35.276 - 33.106i \quad F(\phi_n) = (48.378 \quad -43.183)$$

$$\phi_k := \phi_n + I_3 \cdot (-i \cdot X_{C1}) \quad \phi_k = 0.82 - 26.599i \quad F(\phi_k) = (26.612 \quad -88.234)$$

$$\phi_n := \phi_e + I_5 \cdot (-i \cdot X_{C2}) \quad \phi_n = 35.276 - 33.106i \quad F(\phi_n) = (48.378 \quad -43.183)$$



Прийняти опір $R_2 = 0$ і, вважаючи реактивний опір цієї вітки невідомим, визначити його за умовою резонансу струмів.



$$Z_E := \frac{(R_4 - i \cdot X_{C3}) \cdot (-i \cdot X_{C2})}{R_4 - i \cdot (X_{C2} + X_{C3})} + i \cdot X_{L3} + R_3 - i \cdot X_{C1} \quad Z_E = 16.538 + 6.368i$$

$$Z_E = R_E + j \cdot X_E \quad R_E := \operatorname{Re}(Z_E) \quad R_E = 16.538 \quad X_E := \operatorname{Im}(Z_E) \quad X_E = 6.368$$

За умовою резонансу:

$$B_{ab} = B_n + B_E \quad B_n = -B_E = \frac{-X_E}{X_E^2 + R_E^2}$$

$$B_n := \frac{-X_E}{X_E^2 + R_E^2} \quad B_n = -0.02 \quad \text{Реактивний опір вітки: } X_n := \frac{1}{B_n} \quad X_n = -49.317$$

Розрахувати струми для резонансного стану кола;

$$Z_1 := R_1 + X_{L1} \cdot i \quad Z_1 = 9 + 50i$$

$$Z_3 := R_3 + X_{L3} \cdot i - X_{C1} \cdot i \quad Z_3 = 13 + 15i$$

$$Z_4 := R_4 - X_{C3} \cdot i \quad Z_4 = 15 - 12i$$

$$Z_5 := -X_{C2} \cdot i \quad Z_5 = -15i$$

$$Z_{345} := \frac{Z_4 \cdot Z_5}{Z_4 + Z_5} + Z_3 \quad Z_{345} = 16.538 + 6.368i$$

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

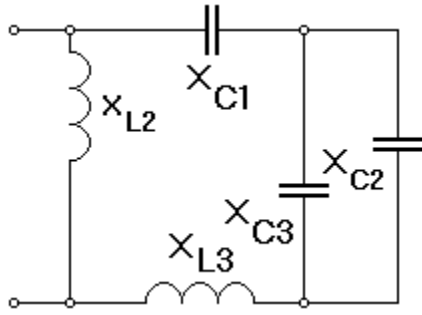
$$Z_{VX}(X_N) \left| \begin{array}{l} \text{complex} \\ \text{simplify} \end{array} \right. \rightarrow \frac{(12150 \cdot X_N + 2707 \cdot X_N^2 + 299601 + 100789 \cdot i \cdot X_N + 5975 \cdot i \cdot X_N^2 + 1664450 \cdot i)}{(33289 + 1350 \cdot X_N + 106 \cdot X_N^2)}$$

$$X_N := \operatorname{Im}(Z_{VX}(X_N)) \left| \begin{array}{l} \text{complex} \\ \text{solve, } X_N \rightarrow \\ \text{float, 6} \end{array} \right. \rightarrow \begin{pmatrix} -8.43423 + 14.4025 \cdot i \\ -8.43423 - 14.4025 \cdot i \end{pmatrix}$$

Отже резонанс кола не може бути при будь-яком реактивному опорі у другій вітці так як:

$$X_N = \begin{pmatrix} -8.434 + 14.402i \\ -8.434 - 14.402i \end{pmatrix}$$

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



$$L_2 := \frac{X_{L2}}{\omega} \rightarrow \frac{1}{5 \cdot \pi} \quad L_2 = 0.064$$

$$L_3 := \frac{X_{L3}}{\omega} \rightarrow \frac{7}{40 \cdot \pi} \quad L_3 = 0.056$$

$$C_1 := \frac{1}{\omega \cdot X_{C1}} \rightarrow \frac{1}{4000 \cdot \pi} \quad C_1 = 7.958 \times 10^{-5}$$

$$C_2 := \frac{1}{\omega \cdot X_{C2}} \rightarrow \frac{1}{3000 \cdot \pi} \quad C_2 = 1.061 \times 10^{-4}$$

$$C_3 := \frac{1}{\omega \cdot X_{C3}} \rightarrow \frac{1}{2400 \cdot \pi} \quad C_3 = 1.326 \times 10^{-4}$$

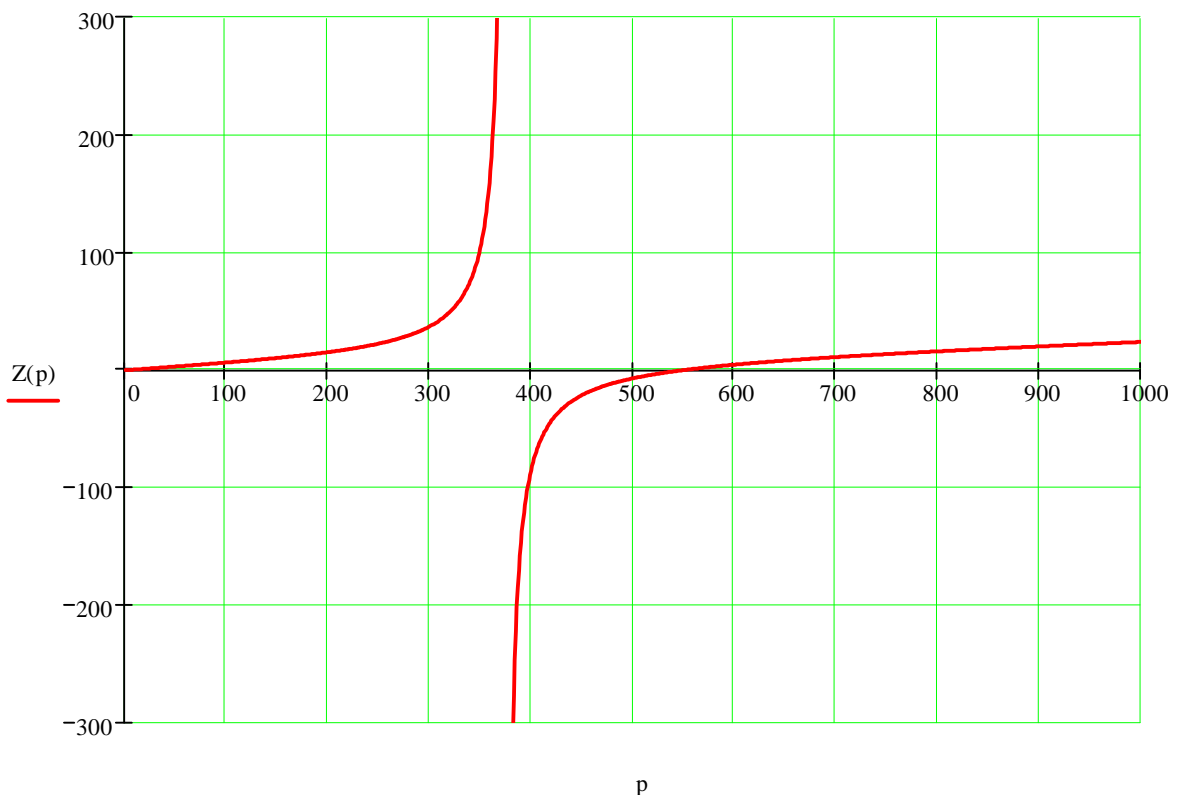
$$Z(p) := \frac{\left[\frac{\frac{-1}{p \cdot C_3} \cdot \frac{-1}{p \cdot C_2}}{\left(\frac{-1}{p \cdot C_3} - \frac{1}{p \cdot C_2} \right)} + p \cdot L_3 - \frac{1}{p \cdot C_1} \right] \cdot p \cdot L_2}{p \cdot L_2 + \frac{\frac{-1}{p \cdot C_3} \cdot \frac{-1}{p \cdot C_2}}{\left(\frac{-1}{p \cdot C_3} - \frac{1}{p \cdot C_2} \right)} + p \cdot L_3 - \frac{1}{p \cdot C_1}}$$

Знаходимо нулі:

$$\omega := Z(p) \left| \begin{array}{l} \text{solve, p} \\ \text{float, 11} \end{array} \right. \rightarrow \begin{pmatrix} 548.44137668 \\ -548.44137668 \\ 0 \end{pmatrix} \quad \omega = \begin{pmatrix} 548.441 \\ -548.441 \\ 0 \end{pmatrix} \quad \omega := \begin{pmatrix} \omega_0 \\ \omega_2 \end{pmatrix} \quad \omega = \begin{pmatrix} 548.441 \\ 0 \end{pmatrix}$$

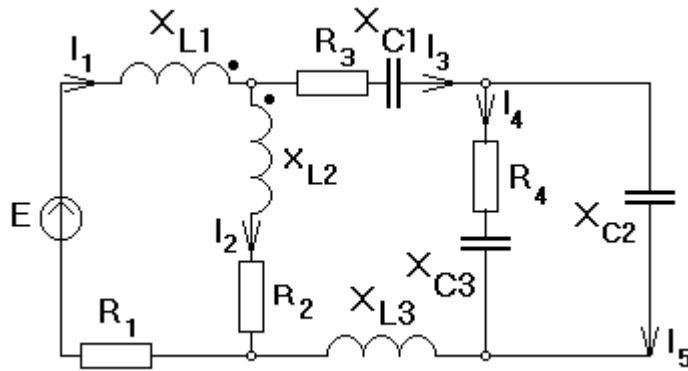
Знаходимо полюси:

$$\omega_1 := \frac{1}{Z(p)} \left| \begin{array}{l} \text{solve, p} \\ \text{float, 11} \end{array} \right. \rightarrow \begin{pmatrix} 374.65678566 \\ -374.65678566 \end{pmatrix} \quad \omega_1 = \begin{pmatrix} 374.657 \\ -374.657 \end{pmatrix} \quad \omega_1 := \omega_{10} \quad \omega_1 = 374.657$$



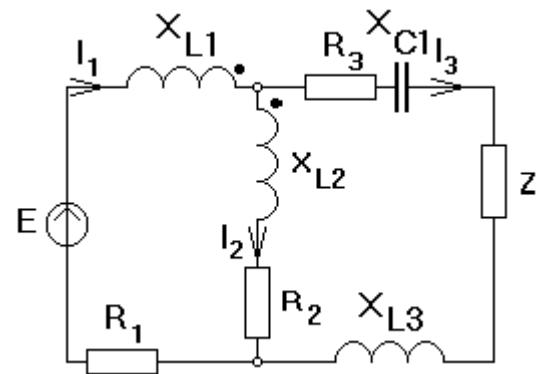
При наявності магнітного зв'язку між індуктивними елементами

- 1) Перетворити схему до двох незалежних контурів, розрахувати струми у всіх вітках методом контурних струмів, визначити покази вольтметра;
- 2) Перевірити правильність розрахунків за балансом потужностей, визначити активну і реактивну потужності магнітного зв'язку;
- 3) Побудувати сімисну векторну діаграму струмів та топографічну діаграму напруг



$$Z := \frac{-i \cdot X_{C2} \cdot (R_4 - i \cdot X_{C3})}{R_4 - i \cdot X_{C2} - i \cdot X_{C3}}$$

$$Z = 3.538 - 8.632i$$



$$Z_{11} := R_1 + R_2 + i \cdot (X_{L1} + X_{L2} - 2 \cdot X_M) \rightarrow 20 + 30 \cdot i$$

$$Z_{12} := R_2 + i \cdot (X_{L2} - X_M) \rightarrow 11 + 10 \cdot i$$

$$Z_{22} := R_2 + R_3 + i \cdot (X_{L2} + X_{L3} - X_{C1}) + Z_{\text{float}, 7} \rightarrow 27.53774 + 46.36792 \cdot i$$

Given

$$I_{K1} \cdot Z_{11} - I_{K2} \cdot Z_{12} = U$$

$$-I_{K1} \cdot Z_{12} + I_{K2} \cdot Z_{22} = 0$$

$$\begin{pmatrix} I_{K1} \\ I_{K2} \end{pmatrix} := \text{Find}(I_{K1}, I_{K2}) \rightarrow \begin{pmatrix} -1.1129572336735859548 - 4.1459113913517256060 \cdot i \\ -0.62789244344188697338 - 1.0030064578824152375 \cdot i \end{pmatrix}$$

$$I_{K1} = -1.113 - 4.146i$$

$$I_{K2} = -0.628 - 1.003i$$

$$I_1 := I_{K1}$$

$$I_1 = -1.113 - 4.146i$$

$$F(I_1) = (4.293 \quad -105.027)$$

$$I_2 := I_{K1} - I_{K2}$$

$$I_2 = -0.485 - 3.143i$$

$$F(I_2) = (3.18 \quad -98.774)$$

$$I_3 := I_{K2}$$

$$I_3 = -0.628 - 1.003i$$

$$F(I_3) = (1.183 \quad -122.047)$$

$$I_4 := \frac{I_3 \cdot Z}{R_4 - i \cdot X_{C3}}$$

$$I_4 = -0.503 - 0.278i$$

$$F(I_4) = (0.575 \quad -151.102)$$

$$I_5 := \frac{I_3 \cdot Z}{-i \cdot X_{C2}}$$

$$I_5 = -0.125 - 0.725i$$

$$F(I_5) = (0.736 \quad -99.761)$$

Перевірка за першим законом Кіргофа: $I_1 - I_2 - I_3 = 0$ $I_3 - I_4 - I_5 = 0$ $I_2 + I_5 + I_4 - I_1 = 0$

Перевірка за другим законом Кіргофа:

$$-I_1 \cdot [R_1 + i \cdot (X_{L1} - X_M)] + U - I_2 \cdot [R_2 + i \cdot (X_{L2} - X_M)] = -1.066 \times 10^{-14} + 2.132i \times 10^{-14}$$

$$I_2 \cdot [R_2 + i \cdot (X_{L2} - X_M)] - I_4 \cdot (R_4 - i \cdot X_{C3}) - I_3 \cdot (R_3 + i \cdot X_{L3} - i \cdot X_{C1} + i \cdot X_M) = -7.148 \times 10^{-6} - 1.32i \times 10^{-6}$$

$$I_5 \cdot (-i \cdot X_{C2}) - I_4 \cdot (R_4 - i \cdot X_{C3}) = 0$$

$$S_{M1} := -I_1 \cdot \overline{I_2} \cdot i \cdot X_M$$

$$S_{M1} = -44.606 - 407.102i$$

$$F(S_{M1}) = (409.538 \quad -96.253)$$

$$S_{M2} := \overline{-I_1} \cdot I_2 \cdot i \cdot X_M$$

$$S_{M2} = 44.606 - 407.102i$$

$$F(S_{M2}) = (409.538 \quad -83.747)$$

Перевірка за балансом потужностей

$$S_1 := U \cdot \bar{I}_1$$

$$S_1 = 300.247 + 520.601i$$

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

$$P = 300.247$$

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

$$Q := Q + S_{M1} + S_{M2}$$

$$Q = 520.601i$$

Будуємо сумісну векторну діаграму струмів та топографічну діаграму напруг

Знаходимо потенціали точок:

$$\phi_a := 0$$

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

$$\phi_b = -10.017 - 37.313i$$

$$F(\phi_b) = (38.634 \quad -105.027)$$

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

$$\phi_c = -15.352 - 71.885i$$

$$F(\phi_c) = (73.506 \quad -102.055)$$

$$\phi_{d'} := \phi_c + I_2 \cdot i \cdot X_{L2}$$

$$\phi_{d'} = 110.364 - 91.288i$$

$$F(\phi_{d'}) = (143.226 \quad -39.596)$$

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

$$\phi_d = -14.013 - 57.899i$$

$$F(\phi_d) = (59.571 \quad -103.606)$$

$$\phi_{1''} := \phi_d - I_2 \cdot i \cdot X_M$$

$$\phi_{1''} = -108.301 - 43.347i$$

$$F(\phi_{1''}) = (116.653 \quad -158.186)$$

$$\phi_1 := \phi_{1''} + I_1 \cdot i \cdot X_{L1}$$

$$\phi_1 = 98.995 - 98.995i$$

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

$$\phi_{1'} := \phi_1 - U$$

$$\phi_{1'} = 1.421 \times 10^{-14} - 1.421i \times 10^{-14}$$

$$F(\phi_{1'}) = (2.01 \times 10^{-14} \quad -45)$$

$$\phi_e := \phi_b + I_3 \cdot i \cdot X_{L3}$$

$$\phi_e = 25.089 - 59.289i$$

$$F(\phi_e) = (64.379 \quad -67.064)$$

$$\phi_k := \phi_e + I_3 \cdot \text{Re}(Z)$$

$$\phi_k = 22.867 - 62.838i$$

$$F(\phi_k) = (66.869 \quad -70.003)$$

$$\phi_m := \phi_k + I_3 \cdot \text{Im}(Z) \cdot i$$

$$\phi_m = 14.209 - 57.418i$$

$$F(\phi_m) = (59.15 \quad -76.1)$$

$$\phi_z := \phi_m + I_3 \cdot (-i \cdot X_{C1})$$

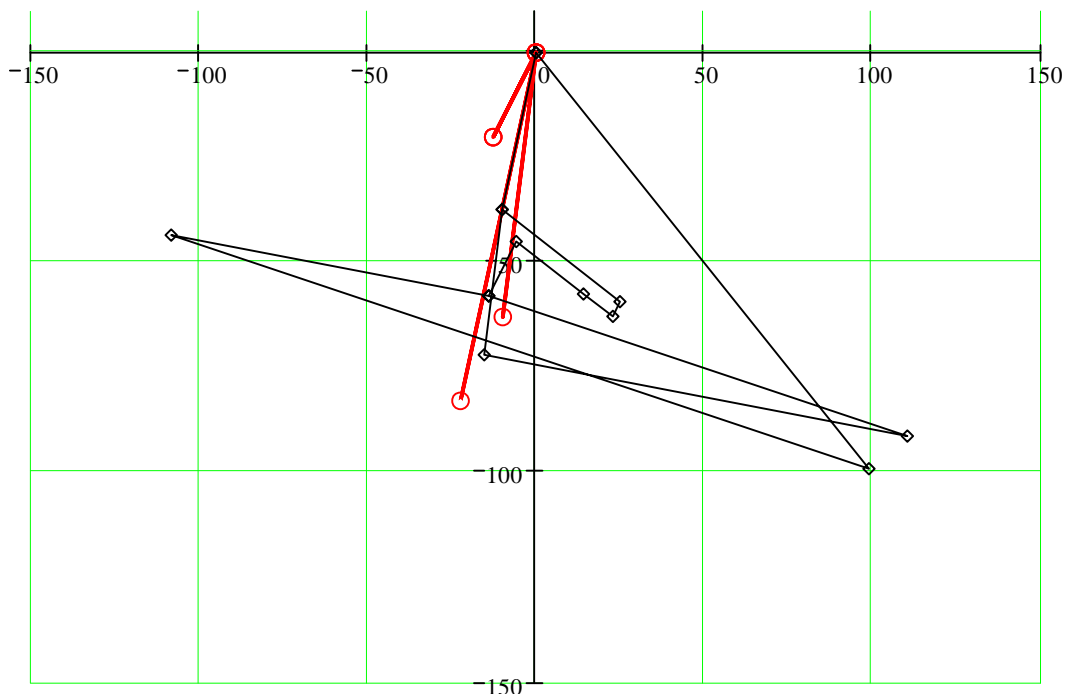
$$\phi_z = -5.851 - 44.86i$$

$$F(\phi_z) = (45.24 \quad -97.431)$$

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

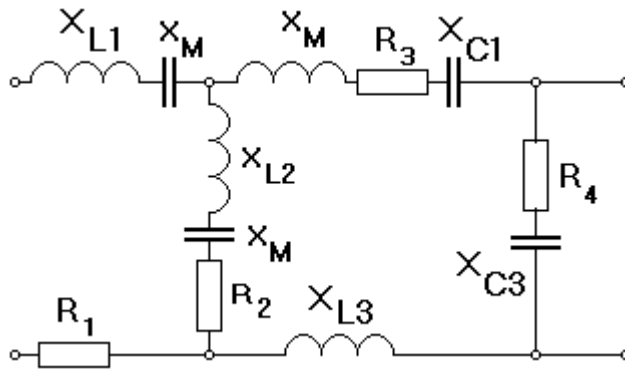
$$\phi_d = -14.013 - 57.899i$$

$$F(\phi_d) = (59.571 \quad -103.606)$$



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":

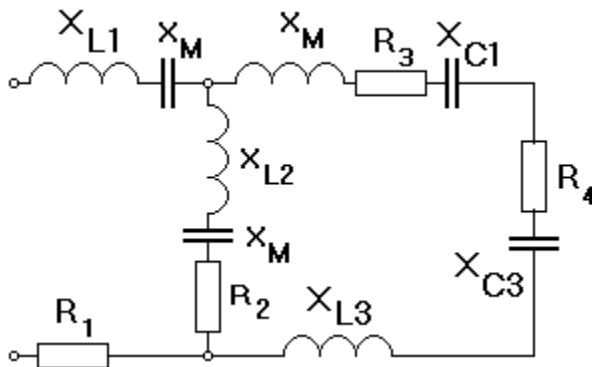
1) Розрахувати коефіцієнти чотириполіусника **A, B, C, D**



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

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

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



$$Z_1 := R_1 + i \cdot (X_{L1} - X_M) \rightarrow 9 + 20 \cdot i$$

$$Z_2 := R_2 + i \cdot (X_{L2} - X_M) \rightarrow 11 + 10 \cdot i$$

$$Z_3 := R_3 + R_4 + i \cdot (X_{L3} - X_{C3} - X_{C1} + X_M) \rightarrow 28 + 33 \cdot i$$

$$Z_{10} := \frac{Z_2 \cdot Z_3}{Z_2 + Z_3} + Z_1 \quad Z_{10} = 16.95 + 27.722i \quad Z_{20} := \frac{Z_1 \cdot Z_2}{Z_1 + Z_2} + Z_3 \quad Z_{20} = 33.6 + 40.1i$$

$$I_{10} := \frac{U_{10}}{Z_{10}} \quad I_{10} = -1.01 - 4.189i \quad F(I_{10}) = (4.309 \quad -103.557)$$

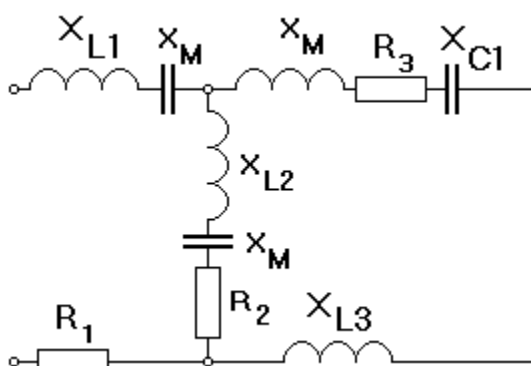
$$I_{30} := I_{10} \cdot \frac{Z_2}{Z_2 + Z_3} \quad I_{30} = -0.361 - 1.043i \quad F(I_{30}) = (1.103 \quad -109.076)$$

$$U_{20} := I_{30} \cdot (R_4 - i \cdot X_{C3}) \quad U_{20} = -17.922 - 11.314i \quad F(U_{20}) = (21.195 \quad -147.736)$$

$$A := \frac{U_{10}}{U_{20}} \quad A = -1.456 + 6.443i \quad F(A) = (6.605 \quad 102.736)$$

$$C := \frac{I_{10}}{U_{20}} \quad C = 0.146 + 0.142i \quad F(C) = (0.203 \quad 44.179)$$

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



$$Z_1 := R_1 + i \cdot (X_{L1} - X_M) \rightarrow 9 + 20 \cdot i$$

$$Z_2 := R_2 + i \cdot (X_{L2} - X_M) \rightarrow 11 + 10 \cdot i$$

$$Z_3 := R_3 + i \cdot (X_{L3} + X_M - X_{C1}) \rightarrow 13 + 45 \cdot i$$

$$Z_K := \frac{Z_2 \cdot Z_3}{Z_2 + Z_3} + Z_1 \quad Z_K = 16.5 + 28.854i$$

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

$$I_{1K} = -1.107 - 4.064i$$

$$F(I_{1K}) = (4.212 \quad -105.238)$$

$$I_{3K} := I_{1K} \cdot \frac{Z_2}{Z_2 + Z_3}$$

$$I_{3K} = -0.662 - 0.806i$$

$$F(I_{3K}) = (1.043 \quad -129.389)$$

$$B := \frac{U_K}{I_{3K}}$$

$$B = 13.118 + 133.529i$$

$$F(B) = (134.172 \quad 84.389)$$

$$D := \frac{I_{1K}}{I_{3K}}$$

$$D = 3.683 + 1.652i$$

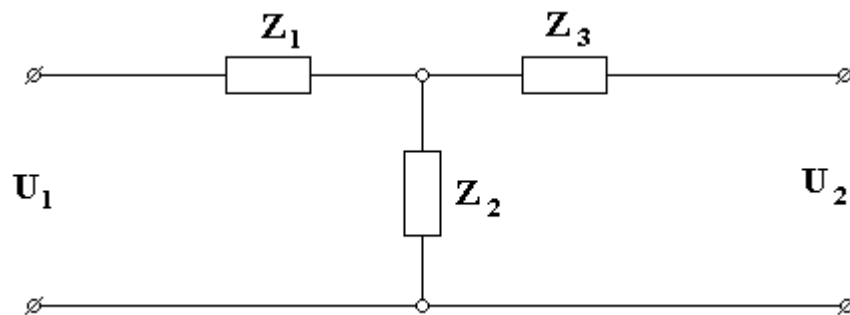
$$F(D) = (4.037 \quad 24.152)$$

Перевірка $A \cdot D - B \cdot C = 1$

$$F(A) = (6.605 \quad 102.736) \quad F(B) = (134.172 \quad 84.389)$$

$$F(C) = (0.203 \quad 44.179) \quad F(D) = (4.037 \quad 24.152)$$

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



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

$$Z_1 = 13.422 + 31.15i$$

$$F(Z_1) = (33.919 \quad 66.69)$$

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

$$Z_2 = 11 + 10i$$

$$F(Z_2) = (14.866 \quad 42.274)$$

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

$$Z_3 = 15.128 - 3.372i$$

$$F(Z_3) = (15.499 \quad -12.566)$$

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

$$R_1 = 13.422$$

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

$$R_2 = 3.528$$

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

$$R_3 = 15.128$$

$$X_1 := \operatorname{Im}(Z_1)$$

$$X_2 := -\operatorname{Im}(Z_2) \quad X_3 := -\operatorname{Im}(Z_3)$$

$$X_1 = 31.15$$

$$X_2 = 3.428$$

$$X_3 = 3.372$$

$$L_1 := \frac{X_1}{2 \cdot \pi \cdot f}$$

$$C_2 := \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot X_2} \quad C_3 := \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot X_3}$$

$$L_1 = 0.05$$

$$C_2 = 4.643 \times 10^{-4}$$

$$C_3 = 4.72 \times 10^{-4}$$