

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

Розрахунково-графічна робота
“Розрахунок однофазного кола синусоїдного струму”
Варіант № 305

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 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;
- 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.

$$E := 140 \quad \psi := -45 \quad R_1 := 9 \quad R_2 := 11 \quad R_3 := 13 \quad R_4 := 15$$

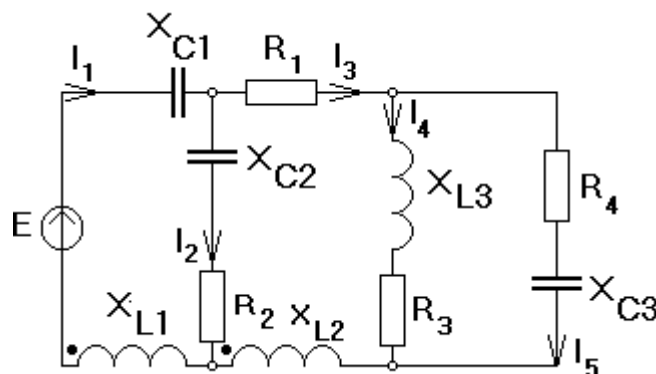
$$X_{L1} := 37 \quad X_{L2} := 27 \quad X_{L3} := 20 \quad X_{C1} := 13 \quad X_{C2} := 10 \quad X_{C3} := 6$$

$$X_M := 15 \quad f := 50 \quad j \cdot \psi \cdot \frac{\pi}{180}$$

$$U := E \cdot e$$

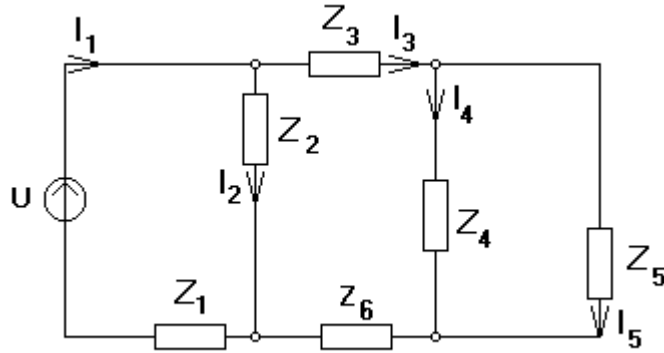
$$U = 98.995 - 98.995i$$

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



Для електричного кола без взаємної індукції:

Розрахувати всі струми символьним методом



$$Z_1 := i \cdot (X_{L1} - X_{C1}) \rightarrow 24 \cdot i$$

$$Z_4 := R_3 + i \cdot X_{L3} \rightarrow 13 + 20 \cdot i$$

$$Z_2 := R_2 - i \cdot (X_{C2}) \rightarrow 11 - 10 \cdot i$$

$$Z_5 := R_4 - i \cdot X_{C3} \rightarrow 15 - 6 \cdot i$$

$$Z_3 := R_1 \rightarrow 9$$

$$Z_6 := i \cdot X_{L2} \rightarrow 27 \cdot i$$

$$Z_E := \frac{\left(\frac{Z_5 \cdot Z_4}{Z_5 + Z_4} + Z_3 + Z_6 \right) \cdot Z_2}{Z_2 + \frac{Z_5 \cdot Z_4}{Z_5 + Z_4} + Z_3 + Z_6} + Z_1 \quad Z_E = 13.496 + 19.376i$$

$$I_1 := \frac{U}{Z_E} \quad I_1 = -1.044 - 5.836i \quad F(I_1) = (5.929 \quad -100.142)$$

$$I_2 := \frac{I_1 \cdot \left(\frac{Z_5 \cdot Z_4}{Z_5 + Z_4} + Z_3 + Z_6 \right)}{Z_2 + \frac{Z_5 \cdot Z_4}{Z_5 + Z_4} + Z_3 + Z_6} \quad I_2 = 1.301 - 5.539i \quad F(I_2) = (5.69 \quad -76.779)$$

$$I_3 := \frac{I_1 \cdot Z_2}{\left(Z_2 + \frac{Z_5 \cdot Z_4}{Z_5 + Z_4} + Z_3 + Z_6 \right)} \quad I_3 = -2.345 - 0.297i \quad F(I_3) = (2.364 \quad -172.773)$$

$$I_4 := I_3 \cdot \frac{Z_5}{Z_5 + Z_4} \quad I_4 = -0.919 + 0.803i \quad F(I_4) = (1.22 \quad 138.861)$$

$$I_5 := I_3 \cdot \frac{Z_4}{Z_4 + Z_5} \quad I_5 = -1.426 - 1.1i \quad F(I_5) = (1.801 \quad -142.362)$$

Перевірка за першим законом Кіргофа:

$$I_1 - I_2 - I_3 = 0 \quad I_3 - I_4 - I_5 = 0 \quad I_2 + I_5 + I_4 - I_1 = 0$$

Перевірка за другим законом Кіргофа:

$$-I_1 \cdot [i \cdot (X_{L1} - X_{C1})] + U - I_2 \cdot (R_2 - i \cdot X_{C2}) = 1.421i \times 10^{-14}$$

$$I_2 \cdot (R_2 - i \cdot X_{C2}) - I_4 \cdot (R_3 + i \cdot X_{L3}) - I_3 \cdot (R_1 + i \cdot X_{L2}) = -3.553 \times 10^{-15}$$

$$I_4 \cdot (R_3 + i \cdot X_{L3}) - I_5 \cdot (R_4 - i \cdot X_{C3}) = 0$$

Перевірка за балансом потужностей

$$S_1 := U \cdot \overline{I_1} \quad S_1 = 474.408 + 681.104i$$

$$P := (|I_2|)^2 \cdot R_2 + (|I_4|)^2 \cdot R_3 + (|I_5|)^2 \cdot R_4 + (|I_3|)^2 \cdot R_1 \quad P = 474.408$$

$$Q := (|I_1|)^2 \cdot (-X_{C1} + X_{L1}) + (|I_2|)^2 \cdot (-X_{C2}) + (|I_3|)^2 \cdot (X_{L2}) + (|I_4|)^2 \cdot (X_{L3}) + (|I_5|)^2 \cdot (-X_{C3}) \quad Q = 681.104$$

Будуємо сумісну векторну діаграму струмів та топографічну діаграму напруг

Знаходимо потенціали точок:

$$\phi_a := 0$$

$$\phi_b := \phi_a + I_1 \cdot i \cdot X_{L1} \quad \phi_b = 215.94 - 38.627i \quad F(\phi_b) = (219.368 \quad -10.142)$$

$$\phi_c := \phi_b + I_2 \cdot R_2 \quad \phi_c = 230.254 - 99.554i \quad F(\phi_c) = (250.854 \quad -23.382)$$

$$\phi_d := \phi_c + I_2 \cdot (-i \cdot X_{C2}) \quad \phi_d = 174.866 - 112.567i \quad F(\phi_d) = (207.965 \quad -32.771)$$

$$\phi_1 := \phi_d + I_1 \cdot (-i \cdot X_{C1}) \quad \phi_1 = 98.995 - 98.995i \quad F(\phi_1) = (140 \quad -45)$$

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

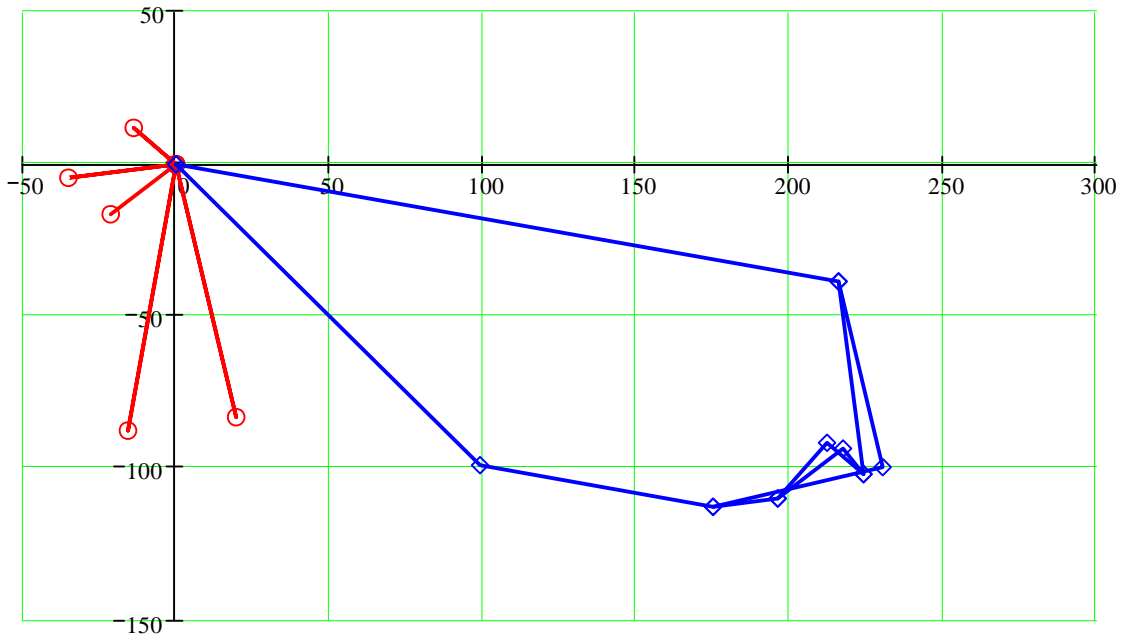
$$\phi_e := \phi_b + I_3 \cdot i \cdot X_{L2} \quad \phi_e = 223.97 - 101.948i \quad F(\phi_e) = (246.081 \quad -24.474)$$

$$\phi_m := \phi_e + I_4 \cdot R_3 \quad \phi_m = 212.025 - 91.514i \quad F(\phi_m) = (230.932 \quad -23.346)$$

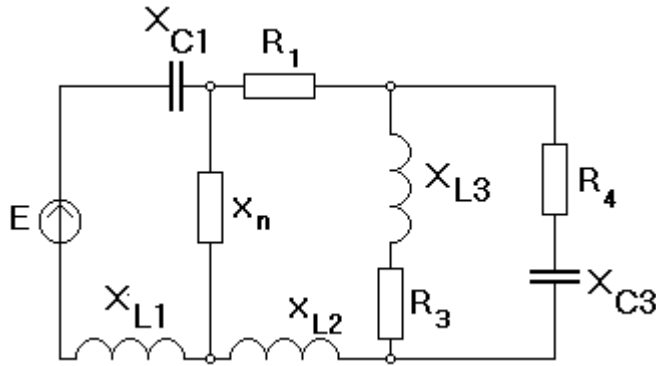
$$\phi_n := \phi_m + I_4 \cdot i \cdot X_{L3} \quad \phi_n = 195.973 - 109.89i \quad F(\phi_n) = (224.68 \quad -29.281)$$

$$\phi_k := \phi_e + I_5 \cdot (-i \cdot X_{C3}) \quad \phi_k = 217.37 - 93.39i \quad F(\phi_k) = (236.582 \quad -23.25)$$

$$\phi_n := \phi_k + I_5 \cdot R_4 \quad \phi_n = 195.973 - 109.89i \quad F(\phi_n) = (224.68 \quad -29.281)$$



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



$$Z_E := \frac{(R_3 + i \cdot X_{L3}) \cdot (R_4 - i \cdot X_{C3})}{R_3 + R_4 + i \cdot (X_{L3} - X_{C3})} + i \cdot X_{L2} + R_1 \quad Z_E = 21.171 + 28.843i$$

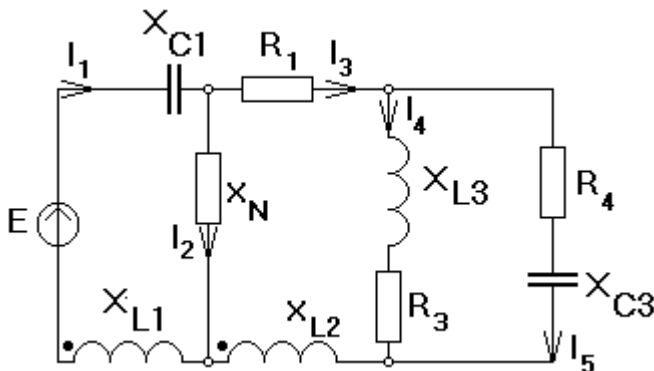
$$Z_E = R_E + j \cdot X_E \quad R_E := \text{Re}(Z_E) \quad R_E = 21.171 \quad X_E := \text{Im}(Z_E) \quad X_E = 28.843$$

За умовою резонансу:

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

$$B_n := \frac{-X_E}{X_E^2 + R_E^2} \quad B_n = -0.023 \quad \text{Реактивний опір вітки: } X_n := \frac{1}{B_n} \quad X_n = -44.383$$

Розрахувати струми для резонансного стану кола;



$$\begin{aligned} Z_1 &:= -X_{C1} \cdot i + X_{L1} \cdot i & Z_1 &= 24i \\ Z_3 &:= R_1 + X_{L2} \cdot i & Z_3 &= 9 + 27i \\ Z_4 &:= R_3 + X_{L3} \cdot i & Z_4 &= 13 + 20i \\ Z_5 &:= R_4 - X_{C3} \cdot i & Z_5 &= 15 - 6i \\ Z_{345} &:= \frac{Z_4 \cdot Z_5}{Z_4 + Z_5} + Z_3 & Z_{345} &= 21.171 + 28.843i \end{aligned}$$

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

$$Z_{VX}(X_N) \left| \begin{array}{l} \text{complex} \\ \text{simplify} \end{array} \right. \rightarrow 3 \cdot \frac{(6916 \cdot X_N^2 + 870435 \cdot i \cdot X_N + 17262 \cdot i \cdot X_N^2 + 10036296 \cdot i)}{(1254537 + 56532 \cdot X_N + 980 \cdot X_N^2)}$$

$$X_N := \text{Im}(Z_{VX}(X_N)) \left| \begin{array}{l} \text{complex} \\ \text{solve, } X_N \rightarrow \\ \text{float, 20} \end{array} \right. \left(\begin{array}{l} -17.846431939854971065 \\ -32.578489853679961157 \end{array} \right) \quad X_N := \left(\begin{array}{l} X_{N0} \\ X_{N1} \end{array} \right)$$

Отже резонанс кола може бути при реактивному опорі у другій вітці $X_N = \left(\begin{array}{l} -17.846 \\ -32.578 \end{array} \right)$ який носить ємнісний характер ($X_{N0} = -17.846$). ($X_{N1} = -32.578$)

$$X_n := X_{N0} \quad X_n = -17.846 \quad Z_{VX}(X_n) = 11.847$$

$$I_1 := \frac{U}{Z_{VX}(X_n)} \quad I_1 = 8.356 - 8.356i \quad F(I_1) = (11.817 \quad -45)$$

$$I_2 := I_1 \cdot \frac{Z_{345}}{Z_{345} + i \cdot X_n} \quad I_2 = 16.784 - 5.69i \quad F(I_2) = (17.722 \quad -18.727)$$

$$I_3 := I_1 - I_2 \quad I_3 = -8.428 - 2.666i \quad F(I_3) = (8.84 \quad -162.447)$$

$$I_4 := I_3 \cdot \frac{Z_5}{Z_4 + Z_5} \quad I_4 = -3.918 + 2.337i \quad F(I_4) = (4.562 \quad 149.186)$$

$$I_5 := I_3 - I_4 \quad I_5 = -4.51 - 5.003i \quad F(I_5) = (6.736 \quad -132.036)$$

$$S_1 := U \cdot \overline{I_1} \quad S_1 = 1.654 \times 10^3$$

$$P := (|I_3|)^2 \cdot R_1 + (|I_4|)^2 \cdot R_3 + (|I_5|)^2 \cdot R_4 \quad P = 1.654 \times 10^3$$

$$Q := (|I_1|)^2 \cdot (X_{L1} - X_{C1}) + (|I_2|)^2 \cdot X_n + (|I_3|)^2 \cdot (X_{L2}) + (|I_4|)^2 \cdot X_{L3} + (|I_5|)^2 \cdot (-X_{C3}) \quad Q = 1.933 \times 10^{-12}$$

При $X_n := X_{N1} \quad X_n = -32.578 \quad Z_{VX}(X_n) = 48.618$

$$I_1 := \frac{U}{Z_{VX}(X_n)} \quad I_1 = 2.036 - 2.036i \quad F(I_1) = (2.88 \quad -45)$$

$$I_2 := I_1 \cdot \frac{Z_{345}}{Z_{345} + i \cdot X_n} \quad I_2 = 4.539 + 1.539i \quad F(I_2) = (4.792 \quad 18.727)$$

$$I_3 := I_1 - I_2 \quad I_3 = -2.502 - 3.575i \quad F(I_3) = (4.364 \quad -124.993)$$

$$I_4 := I_3 \cdot \frac{Z_5}{Z_4 + Z_5} \quad I_4 = -2.237 - 0.26i \quad F(I_4) = (2.252 \quad -173.36)$$

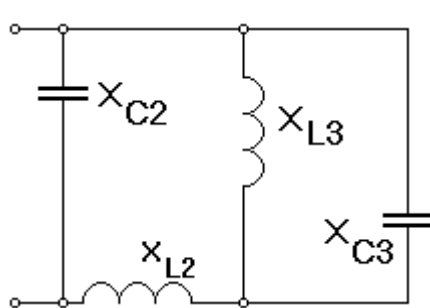
$$I_5 := I_3 - I_4 \quad I_5 = -0.266 - 3.314i \quad F(I_5) = (3.325 \quad -94.582)$$

$$S_1 := U \cdot \overline{I_1} \quad S_1 = 403.143$$

$$P := (|I_3|)^2 \cdot R_1 + (|I_4|)^2 \cdot R_3 + (|I_5|)^2 \cdot R_4 \quad P = 403.143$$

$$Q := (|I_1|)^2 \cdot (X_{L1} - X_{C1}) + (|I_2|)^2 \cdot X_n + (|I_3|)^2 \cdot (X_{L2}) + (|I_4|)^2 \cdot X_{L3} + (|I_5|)^2 \cdot (-X_{C3}) \quad Q = 1.705 \times 10^{-13}$$

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



$$L_2 := \frac{X_{L2}}{\omega} \rightarrow \frac{27}{100 \cdot \pi} \quad L_2 = 0.086$$

$$L_3 := \frac{X_{L3}}{\omega} \rightarrow \frac{1}{5 \cdot \pi} \quad L_3 = 0.064$$

$$C_2 := \frac{1}{\omega \cdot X_{C2}} \rightarrow \frac{1}{1000 \cdot \pi} \quad C_2 = 3.183 \times 10^{-4}$$

$$C_3 := \frac{1}{\omega \cdot X_{C3}} \rightarrow \frac{1}{600 \cdot \pi} \quad C_3 = 5.305 \times 10^{-4}$$

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

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

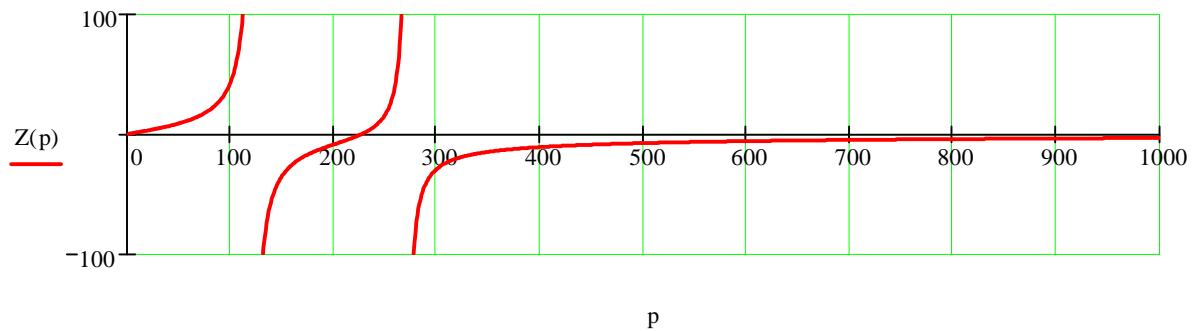
Знаходимо нулі:

$$\omega := Z(p) \left| \begin{array}{l} \text{solve, p} \\ \text{float, 7} \end{array} \right. \rightarrow \begin{pmatrix} 227.0270 \\ -227.0270 \\ 0 \end{pmatrix} \quad \omega = \begin{pmatrix} 227.027 \\ -227.027 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$\omega := (\omega_0 \ \omega_2) \quad \omega = (227.027 \ 0)$$

Знаходимо полюси:

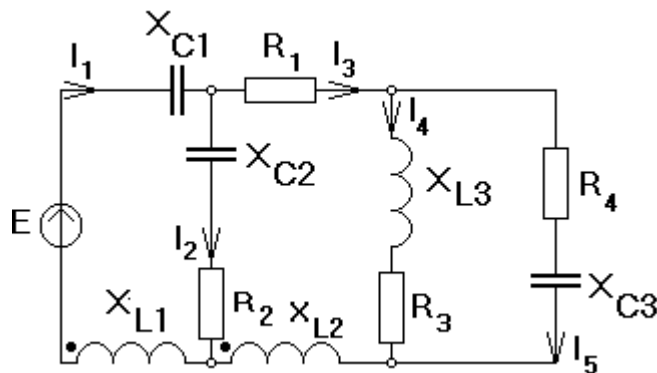
$$\omega_1 := \frac{1}{Z(p)} \left| \begin{array}{l} \text{solve, p} \\ \text{float, 11} \end{array} \right. \rightarrow \begin{pmatrix} 270.80837956 \\ 121.48324728 \\ -121.48324728 \\ -270.80837956 \end{pmatrix} \quad \omega_1 = \begin{pmatrix} 270.808 \\ 121.483 \\ -121.483 \\ -270.808 \end{pmatrix} \quad \omega_1 := \begin{pmatrix} \omega_{1_0} \\ \omega_{1_2} \end{pmatrix} \quad \omega_1 = \begin{pmatrix} 270.808 \\ -121.483 \end{pmatrix}$$



При наявності магнітного зв'язку між індуктивними елементами

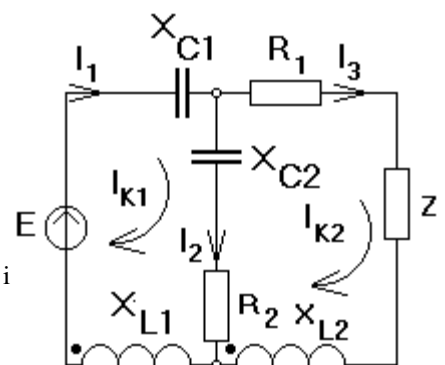
- 1) Перетворити схему до двох незалежних контурів, розрахувати струми у всіх вітках методом контурних струмів, визначити покази вольтметра;
- 2) Перевірити правильність розрахунків за балансом потужностей, визначити активну і реактивну потужності магнітного зв'язку;

імпеданс



$$Z := \frac{(R_4 - i \cdot X_{C3}) \cdot (R_3 + i \cdot X_{L3})}{R_4 + R_3 + i \cdot (X_{L3} - X_{C3})}$$

$$Z = 12.171 + 1.843i$$



$$Z_{11} := R_2 + i \cdot (X_{L1} - X_{C1} - X_{C2}) \rightarrow 11 + 14 \cdot i$$

$$Z_{12} := R_2 + i \cdot (-X_{C2} - X_M) \rightarrow 11 - 25 \cdot i$$

$$Z_{22} := R_2 + R_1 + i \cdot (X_{L2} - X_{C2}) + Z \text{ float, 7} \rightarrow 32.17143 + 18.84286 \cdot i$$

Given

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

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

$$\begin{pmatrix} I_{K1} \\ I_{K2} \end{pmatrix} := \text{Find}(I_{K1}, I_{K2}) \rightarrow \begin{pmatrix} .77660599989461240978 - 3.7996976994048583398 \cdot i \\ -2.8305504532324149290 - .24481842360205343728 \cdot i \end{pmatrix}$$

$$I_{K1} = 0.777 - 3.8i$$

$$I_{K2} = -2.831 - 0.245i$$

$$I_1 := I_{K1}$$

$$I_1 = 0.777 - 3.8i$$

$$F(I_1) = (3.878 \ -78.449)$$

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

$$I_2 = 3.607 - 3.555i$$

$$F(I_2) = (5.064 \ -44.582)$$

$$I_3 := I_{K2}$$

$$I_3 = -2.831 - 0.245i$$

$$F(I_3) = (2.841 \ -175.057)$$

$$I_4 := I_3 \cdot \frac{Z}{R_3 + i \cdot X_{L3}}$$

$$I_4 = -1.065 + 1.008i$$

$$F(I_4) = (1.466 \ 136.577)$$

$$I_5 := I_3 \cdot \frac{Z}{R_4 - i \cdot X_{C3}} \quad I_5 = -1.766 - 1.253i \quad F(I_5) = (2.165 \quad -144.646)$$

Перевірка за першим законом Кіргофа:

$$I_1 - I_2 - I_3 = 0 \quad I_3 - I_4 - I_5 = 0 \quad I_2 + I_5 + I_4 - I_1 = 0$$

$$S_{M1} := I_1 \cdot \overline{I_3} \cdot i \cdot X_M \quad S_{M1} = -164.18 - 19.02i \quad F(S_{M1}) = (165.278 \quad -173.392)$$

$$S_{M2} := \overline{I_1} \cdot I_3 \cdot i \cdot X_M \quad S_{M2} = 164.18 - 19.02i \quad F(S_{M2}) = (165.278 \quad -6.608)$$

Перевірка за балансом потужностей

$$S_1 := U \cdot \overline{I_1} \quad S_1 = 453.031 + 299.271i$$

$$P := (|I_3|)^2 \cdot R_1 + (|I_2|)^2 \cdot R_2 + (|I_4|)^2 \cdot R_3 + (|I_5|)^2 \cdot R_4 \quad P = 453.031$$

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

$$Q := Q + S_{M1} + S_{M2} \quad Q = 299.271i$$

Будуємо сумісну векторну діаграму струмів та топографічну діаграму напруг

Знаходимо потенціали точок:

$$\phi_a := 0$$

$$\phi_b := \phi_a + I_1 \cdot (i \cdot X_{L1}) \quad \phi_b = 140.589 + 28.734i \quad F(\phi_b) = (143.495 \quad 11.551)$$

$$\phi_{b'} := \phi_b + I_3 \cdot i \cdot X_M \quad \phi_{b'} = 144.261 - 13.724i \quad F(\phi_{b'}) = (144.912 \quad -5.434)$$

$$\phi_c := \phi_{b'} + I_2 \cdot R_2 \quad \phi_c = 183.94 - 52.828i \quad F(\phi_c) = (191.376 \quad -16.024)$$

$$\phi_d := \phi_c + I_2 \cdot (-i \cdot X_{C2}) \quad \phi_d = 148.391 - 88.899i \quad F(\phi_d) = (172.982 \quad -30.925)$$

$$\phi_1 := \phi_d - I_1 \cdot i \cdot X_{C1} \quad \phi_1 = 98.995 - 98.995i \quad F(\phi_1) = (140 \quad -45)$$

$$\phi_{1'} := \phi_1 - U \quad \phi_{1'} = 0$$

$$\phi_{e'} := \phi_{b'} + I_3 \cdot i \cdot X_{L2} \quad \phi_{e'} = 150.871 - 90.149i \quad F(\phi_{e'}) = (175.752 \quad -30.859)$$

$$\phi_e := \phi_{e'} + I_1 \cdot i \cdot X_M \quad \phi_e = 207.867 - 78.5i \quad F(\phi_e) = (222.195 \quad -20.689)$$

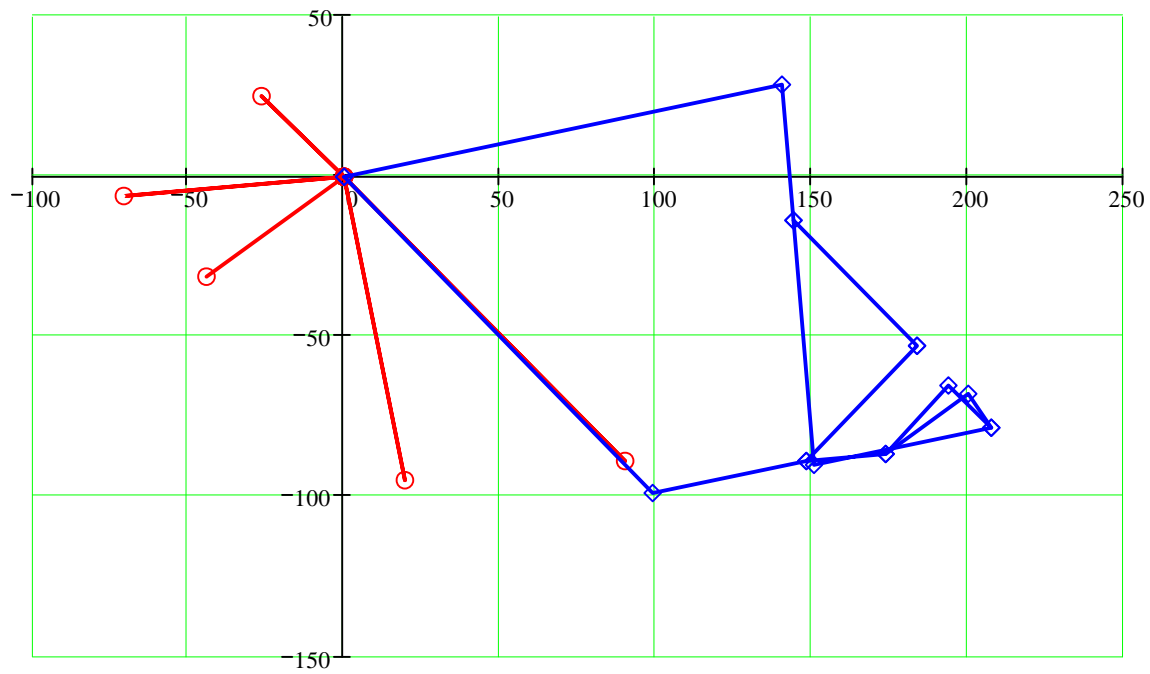
$$\phi_m := \phi_e + I_4 \cdot R_3 \quad \phi_m = 194.023 - 65.398i \quad F(\phi_m) = (204.748 \quad -18.627)$$

$$\phi_n := \phi_m + I_4 \cdot i \cdot X_{L3} \quad \phi_n = 173.866 - 86.696i \quad F(\phi_n) = (194.282 \quad -26.502)$$

$$\phi_k := \phi_e + I_5 \cdot (-i \cdot X_{C3}) \quad \phi_k = 200.351 - 67.906i \quad F(\phi_k) = (211.546 \quad -18.723)$$

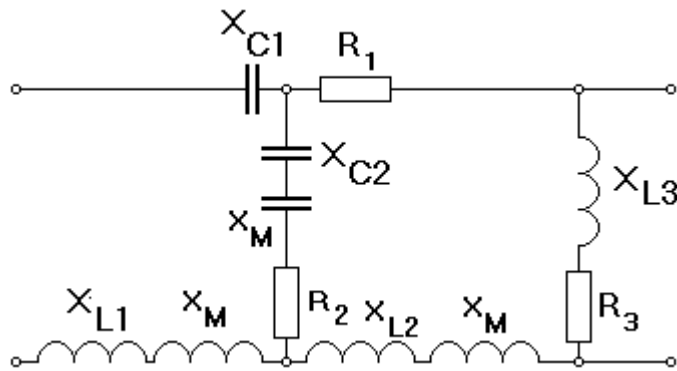
$$\phi_n := \phi_k + I_5 \cdot R_4 \quad \phi_n = 173.866 - 86.696i \quad F(\phi_n) = (194.282 \quad -26.502)$$

$$\phi_d := \phi_n + I_3 \cdot R_1 \quad \phi_d = 148.391 - 88.899i \quad F(\phi_d) = (172.982 \quad -30.925)$$



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":

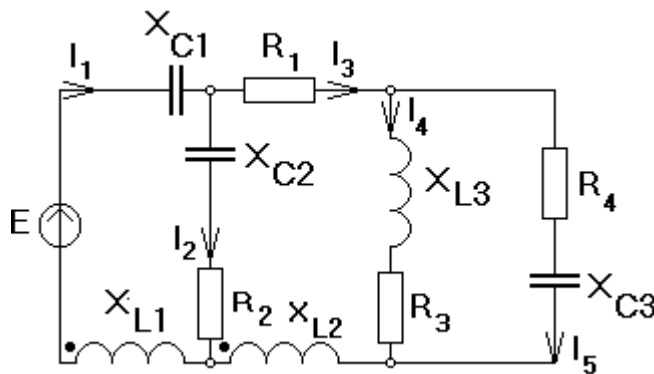
1) Розрахувати коефіцієнти чотириполіусника **A, B, C, D**



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

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

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



$$Z_1 := i \cdot (X_{L1} + X_M - X_{C1}) \rightarrow 39 \cdot i$$

$$Z_2 := R_2 - i \cdot (X_{C2} + X_M) \rightarrow 11 - 25 \cdot i$$

$$Z_3 := R_3 + R_1 + i \cdot (X_{L2} + X_{L3} + X_M) \rightarrow 22 + 62 \cdot i$$

$$Z_E := \frac{Z_2 \cdot Z_3}{Z_2 + Z_3} + Z_1 \quad Z_E = 26.046 + 13.797i$$

$$I_{10} := \frac{U_{10}}{Z_E} \quad I_{10} = 1.396 - 4.54i \quad F(I_{10}) = (4.75 \quad -72.912)$$

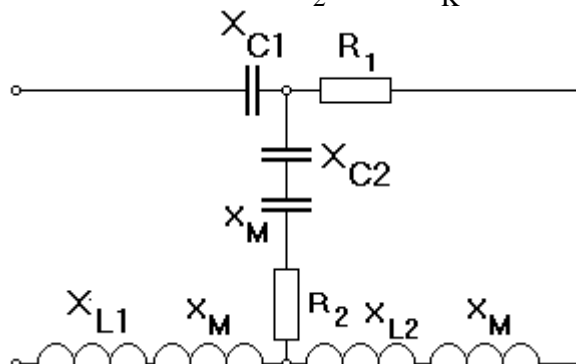
$$I_{30} := I_{10} \cdot \frac{Z_2}{Z_2 + Z_3} \quad I_{30} = -2.595 + 0.339i \quad F(I_{30}) = (2.617 \quad 172.567)$$

$$U_{20} := I_{30} \cdot (R_3 + i \cdot X_{L3}) \quad U_{20} = -40.502 - 47.494i \quad F(U_{20}) = (62.419 \quad -130.457)$$

$$A := \frac{U_{10}}{U_{20}} \quad A = 0.178 + 2.236i \quad F(A) = (2.243 \quad 85.457)$$

$$C := \frac{I_{10}}{U_{20}} \quad C = 0.041 + 0.064i \quad F(C) = (0.076 \quad 57.545)$$

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



$$Z_1 := i \cdot (X_{L1} + X_M - X_{C1}) \rightarrow 39 \cdot i$$

$$Z_2 := R_2 - i \cdot (X_{C2} + X_M) \rightarrow 11 - 25 \cdot i$$

$$Z_3 := R_1 + i \cdot (X_{L2} + X_M) \rightarrow 9 + 42 \cdot i$$

$$Z_K := \frac{Z_2 \cdot Z_3}{Z_2 + Z_3} + Z_1 \quad Z_K = 39.2 + 17.53i$$

$$I_{1K} := \frac{U_K}{Z_K} \quad I_{1K} = 1.163 - 3.046i \quad F(I_{1K}) = (3.26 \quad -69.093)$$

$$I_{3K} := I_{1K} \cdot \frac{Z_2}{Z_2 + Z_3} \quad I_{3K} = -3.383 - 0.254i \quad F(I_{3K}) = (3.392 \quad -175.708)$$

$$B := \frac{U_K}{I_{3K}} \quad B = -26.916 + 31.283i \quad F(B) = (41.268 \quad 130.708)$$

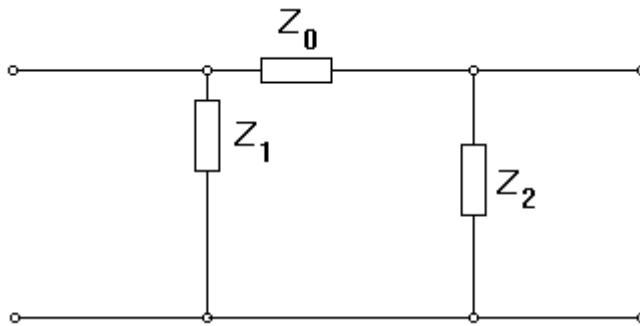
$$D := \frac{I_{1K}}{I_{3K}} \quad D = -0.275 + 0.921i \quad F(D) = (0.961 \quad 106.615)$$

Перевірка $A \cdot D - B \cdot C = 1$

$$F(A) = (2.243 \quad 85.457) \quad F(B) = (41.268 \quad 130.708)$$

$$F(C) = (0.076 \quad 57.545) \quad F(D) = (0.961 \quad 106.615)$$

Розрахувати параметри віток схеми П заміщення;



$$Z_0 := B \quad Z_0 = -26.916 + 31.283i \quad F(Z_0) = (41.268 \quad 130.708)$$

$$Y_1 := \frac{D - 1}{B} \quad Y_1 = 0.037 + 8.862i \times 10^{-3} \quad F(Y_1) = (0.038 \quad 13.447)$$

$$Y_2 := \frac{A - 1}{B} \quad Y_2 = 0.054 - 0.02i \quad F(Y_2) = (0.058 \quad -20.515)$$

$$R_0 := \operatorname{Re}(Z_0) \quad R_0 = -26.916 \quad X_{L0} := \operatorname{Im}(Z_0) \quad X_{L0} = 31.283$$

$$Z_1 := \frac{1}{Y_1} \quad Z_1 = 25.522 - 6.102i \quad R_1 := \operatorname{Re}(Z_1) \quad R_1 = 25.522 \quad X_{C1} := -\operatorname{Im}(Z_1) \quad X_{C1} = 6.102$$

$$Z_2 := \frac{1}{Y_2} \quad Z_2 = 16.224 + 6.071i \quad R_2 := \operatorname{Re}(Z_2) \quad R_2 = 16.224 \quad X_{L2} := \operatorname{Im}(Z_2) \quad X_{L2} = 6.071$$

$$C_1 := \frac{1}{\omega \cdot X_{C1}} \quad C_1 = 5.216 \times 10^{-4} \quad L_2 := \frac{X_{L2}}{\omega} \quad L_2 = 0.019$$

$$L_0 := \frac{X_{L0}}{\omega} \quad L_0 = 0.1$$