

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

Розрахунково-графічна робота
“Розрахунок однофазного кола синусоїдного струму”
Варіант № 315

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.

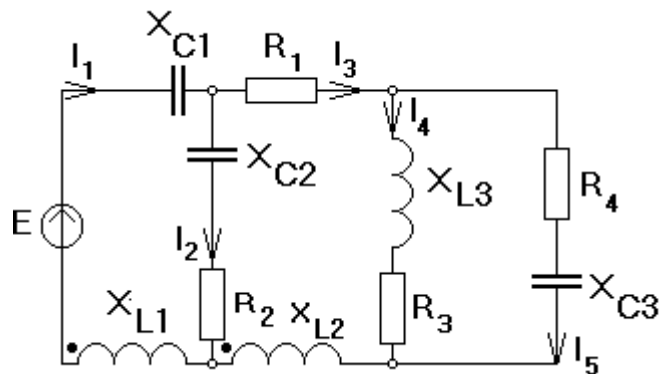
2. ПРИ НАЯВНОСТІ МАГНІТНОГО ЗВ'ЯЗКУ МІЖ ІНДУКТИВНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ L_1 ТА L_2 (ОДНОЙМЕННІ ПОЧАТКИ ПОЗНАЧЕНІ НА СХЕМІ ТОЧКАМИ):

- 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" :

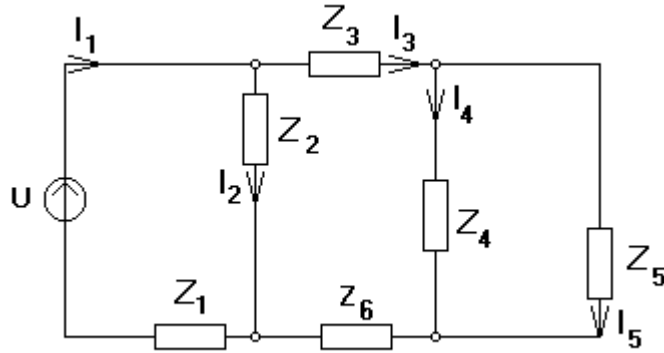
- 3.1. Розрахувати коефіцієнти A, B, C, D чотиріполюсника;
- 3.2. Розрахувати параметри R, L, C віток схеми заміщення.

$$\begin{aligned} E &:= 140 & \psi &:= -45 & R_1 &:= 9 & R_2 &:= 11 & R_3 &:= 13 & R_4 &:= 15 \\ X_{L1} &:= 30 & X_{L2} &:= 35 & X_{L3} &:= 40 & X_{C1} &:= 10 & X_{C2} &:= 15 & X_{C3} &:= 20 \\ X_M &:= 20 & f &:= 50 & & & & & & & & \\ U &:= E \cdot e^{j \cdot \psi \cdot \frac{\pi}{180}} & & & & & & & & & & \\ & & & & & & & & & & U = 98.995 - 98.995i & F(U) = (140 \quad -45) \end{aligned}$$



Для електричного кола без взаємної індукції:

Розрахувати всі струми символьним методом



$$Z_1 := i \cdot (X_{L1} - X_{C1}) \rightarrow 20 \cdot i$$

$$Z_4 := R_3 + i \cdot X_{L3} \rightarrow 13 + 40 \cdot i$$

$$Z_2 := R_2 - i \cdot (X_{C2}) \rightarrow 11 - 15 \cdot i$$

$$Z_5 := R_4 - i \cdot X_{C3} \rightarrow 15 - 20 \cdot i$$

$$Z_3 := R_1 \rightarrow 9$$

$$Z_6 := i \cdot X_{L2} \rightarrow 35 \cdot i$$

$$Z_E := \frac{\left(\frac{Z_5 \cdot Z_4}{Z_5 + Z_4} + Z_3 + Z_6 \right) \cdot Z_2}{Z_2 + \frac{Z_5 \cdot Z_4}{Z_5 + Z_4} + Z_3 + Z_6} + Z_1 \quad Z_E = 14.458 + 10.909i$$

$$I_1 := \frac{U}{Z_E} \quad I_1 = 1.071 - 7.655i \quad F(I_1) = (7.73 \quad -82.036)$$

$$I_2 := \frac{I_1 \cdot \left(\frac{Z_5 \cdot Z_4}{Z_5 + Z_4} + Z_3 + Z_6 \right)}{Z_2 + \frac{Z_5 \cdot Z_4}{Z_5 + Z_4} + Z_3 + Z_6} \quad I_2 = 3.5 - 6.174i \quad F(I_2) = (7.097 \quad -60.452)$$

$$I_3 := \frac{I_1 \cdot Z_2}{\left(Z_2 + \frac{Z_5 \cdot Z_4}{Z_5 + Z_4} + Z_3 + Z_6 \right)} \quad I_3 = 3.572 - 1.399i \quad F(I_3) = (3.836 \quad -21.395)$$

$$I_4 := I_3 \cdot \frac{Z_5}{Z_5 + Z_4} \quad I_4 = -1.117 + 1.739i \quad F(I_4) = (2.067 \quad 122.707)$$

$$I_5 := I_3 \cdot \frac{Z_4}{Z_4 + Z_5} \quad I_5 = -1.312 - 3.221i \quad F(I_5) = (3.478 \quad -112.167)$$

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:

$$-I_1 \cdot [i \cdot (X_{L1} - X_{C1})] + U - I_2 \cdot (R_2 - i \cdot X_{C2}) = -2.132 \times 10^{-14} - 1.421i \times 10^{-14}$$

$$I_2 \cdot (R_2 - i \cdot X_{C2}) - I_4 \cdot (R_3 + i \cdot X_{L3}) - I_3 \cdot (R_1 + i \cdot X_{L2}) = 1.421i \times 10^{-14}$$

$$I_4 \cdot (R_3 + i \cdot X_{L3}) - I_5 \cdot (R_4 - i \cdot X_{C3}) = -1.066i \times 10^{-14}$$

Перевірка за балансом потужностей

$$S_1 := U \cdot \overline{I_1} \quad S_1 = 863.851 + 651.814i$$

$$P := (|I_2|)^2 \cdot R_2 + (|I_4|)^2 \cdot R_3 + (|I_5|)^2 \cdot R_4 + (|I_3|)^2 \cdot R_1 \quad P = 863.851$$

$$Q := (|I_1|)^2 \cdot (-X_{C1} + X_{L1}) + (|I_2|)^2 \cdot (-X_{C2}) + (|I_3|)^2 \cdot (X_{L2}) + (|I_4|)^2 \cdot (X_{L3}) + (|I_5|)^2 \cdot (-X_{C3}) \quad Q = 651.814$$

Будуємо сумісну векторну діаграму струмів та топографічну діаграму напруг

Знаходимо потенціали точок:

$$\phi_a := 0$$

$$\phi_b := \phi_a + I_1 \cdot i \cdot X_{L1}$$

$$\phi_b = 229.658 + 32.129i$$

$$F(\phi_b) = (231.894 \quad 7.964)$$

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

$$\phi_c = 268.158 - 35.786i$$

$$F(\phi_c) = (270.535 \quad -7.601)$$

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

$$\phi_d = 175.548 - 88.285i$$

$$F(\phi_d) = (196.498 \quad -26.698)$$

$$\phi_l := \phi_d + I_1 \cdot (-i \cdot X_{C1})$$

$$\phi_l = 98.995 - 98.995i$$

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

$$\phi_{l'} := \phi_l - U$$

$$\phi_{l'} = 2.842 \times 10^{-14} + 1.421i \times 10^{-14}$$

$$\phi_e := \phi_b + I_3 \cdot i \cdot X_{L2}$$

$$\phi_e = 281.502 - 52.888i$$

$$F(\phi_e) = (286.427 \quad -10.641)$$

$$\phi_m := \phi_e + I_4 \cdot R_3$$

$$\phi_m = 266.981 - 30.277i$$

$$F(\phi_m) = (268.693 \quad -6.47)$$

$$\phi_n := \phi_m + I_4 \cdot i \cdot X_{L3}$$

$$\phi_n = 197.409 - 74.954i$$

$$F(\phi_n) = (211.16 \quad -20.791)$$

$$\phi_k := \phi_e + I_5 \cdot (-i \cdot X_{C3})$$

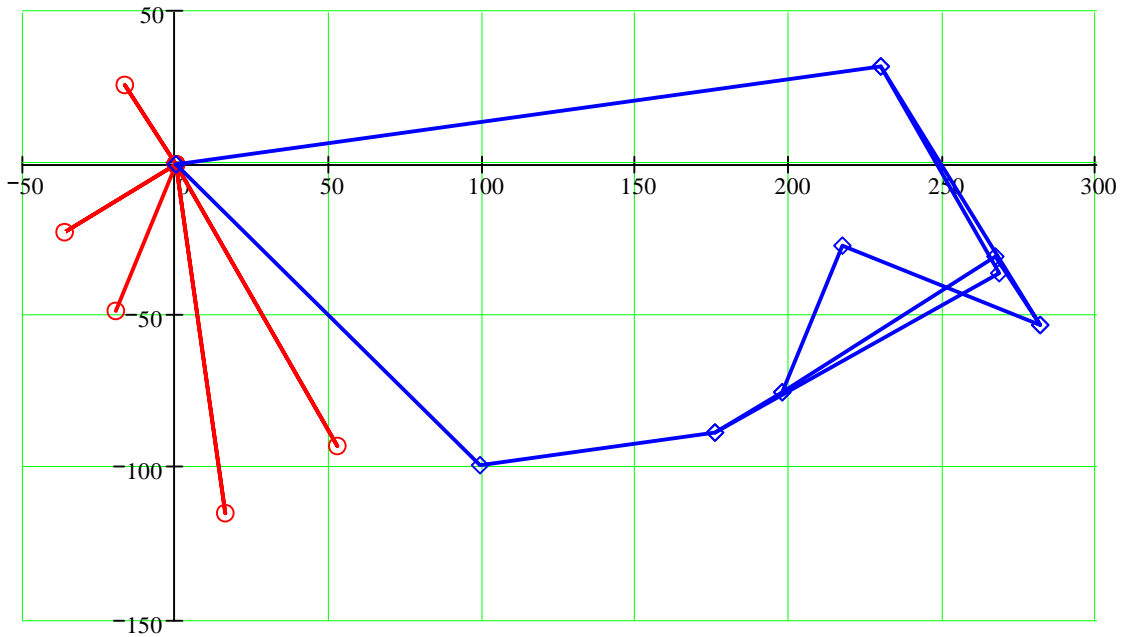
$$\phi_k = 217.09 - 26.646i$$

$$F(\phi_k) = (218.72 \quad -6.998)$$

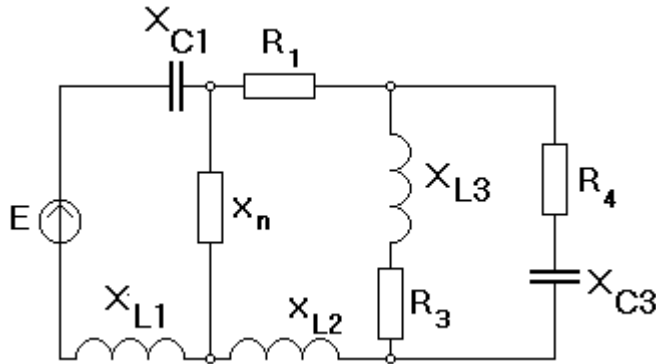
$$\phi_n := \phi_k + I_5 \cdot R_4$$

$$\phi_n = 197.409 - 74.954i$$

$$F(\phi_n) = (211.16 \quad -20.791)$$



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



$$Z_E := \frac{(R_3 + i \cdot X_{L3}) \cdot (R_4 - i \cdot X_{C3})}{R_3 + R_4 + i \cdot (X_{L3} - X_{C3})} + i \cdot X_{L2} + R_1 \quad Z_E = 38.274 + 26.233i$$

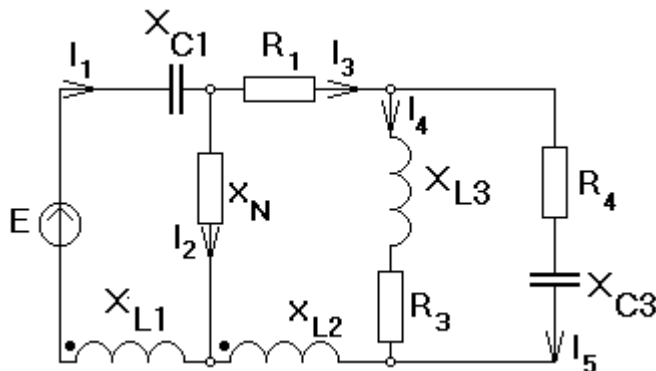
$$Z_E = R_E + j \cdot X_E \quad R_E := \operatorname{Re}(Z_E) \quad R_E = 38.274 \quad X_E := \operatorname{Im}(Z_E) \quad X_E = 26.233$$

За умовою резонансу:

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

$$B_n := \frac{-X_E}{X_E^2 + R_E^2} \quad B_n = -0.012 \quad \text{Реактивний опір вітки: } X_n := \frac{1}{B_n} \quad X_n = -82.074$$

Розрахувати струми для резонансного стану кола;



$$\begin{aligned} Z_1 &:= -X_{C1} \cdot i + X_{L1} \cdot i & Z_1 &= 20i \\ Z_3 &:= R_1 + X_{L2} \cdot i & Z_3 &= 9 + 35i \\ Z_4 &:= R_3 + X_{L3} \cdot i & Z_4 &= 13 + 40i \\ Z_5 &:= R_4 - X_{C3} \cdot i & Z_5 &= 15 - 20i \\ Z_{345} &:= \frac{Z_4 \cdot Z_5}{Z_4 + Z_5} + Z_3 & Z_{345} &= 38.274 + 26.233i \end{aligned}$$

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

$$Z_{VX}(X_N) \left| \begin{array}{l} \text{complex} \\ \text{simplify} \end{array} \right. \rightarrow \frac{(45316 \cdot X_N^2 + 3791609 \cdot i \cdot X_N + 54740 \cdot i \cdot X_N^2 + 50984180 \cdot i)}{(2549209 + 62120 \cdot X_N + 1184 \cdot X_N^2)}$$

$$X_N := \operatorname{Im}(Z_{VX}(X_N)) \left| \begin{array}{l} \text{complex} \\ \text{solve, } X_N \\ \text{float, 20} \end{array} \right. \rightarrow \begin{pmatrix} -18.260684243656827564 \\ -51.005099461129434768 \end{pmatrix} \quad X_N := \begin{pmatrix} X_{N0} \\ X_{N1} \end{pmatrix}$$

Отже резонанс кола може бути при реактивному опорі у другій вітці $X_N = \begin{pmatrix} -18.261 \\ -51.005 \end{pmatrix}$ який носить ємнісний характер ($X_{N0} = -18.261$). ($X_{N1} = -51.005$)

$$X_n := X_{N0} \quad X_n = -18.261 \quad Z_{VX}(X_n) = 8.35$$

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

$$I_1 = 11.856 - 11.856i$$

$$F(I_1) = (16.766 \quad -45)$$

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

$$I_2 = 18.406 - 7.564i$$

$$F(I_2) = (19.9 \quad -22.339)$$

$$I_3 := I_1 - I_2$$

$$I_3 = -6.55 - 4.292i$$

$$F(I_3) = (7.831 \quad -146.766)$$

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

$$I_4 = -3.228 + 4.685i$$

$$F(I_4) = (5.69 \quad 124.566)$$

$$I_5 := I_3 - I_4$$

$$I_5 = -3.322 - 8.977i$$

$$F(I_5) = (9.572 \quad -110.308)$$

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

$$S_1 = 2.347 \times 10^3$$

$$P := (|I_3|)^2 \cdot R_1 + (|I_4|)^2 \cdot R_3 + (|I_5|)^2 \cdot R_4 \quad P = 2.347 \times 10^3$$

$$Q := (|I_1|)^2 \cdot (X_{L1} - X_{C1}) + (|I_2|)^2 \cdot X_n + (|I_3|)^2 \cdot (X_{L2}) + (|I_4|)^2 \cdot X_{L3} + (|I_5|)^2 \cdot (-X_{C3}) \quad Q = -1.137 \times 10^{-12}$$

При $X_n := X_{N1} \quad X_n = -51.005 \quad Z_{VX}(X_n) = 47.904$

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

$$I_1 = 2.067 - 2.067i$$

$$F(I_1) = (2.923 \quad -45)$$

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

$$I_2 = 2.751 + 1.131i$$

$$F(I_2) = (2.974 \quad 22.339)$$

$$I_3 := I_1 - I_2$$

$$I_3 = -0.685 - 3.197i$$

$$F(I_3) = (3.27 \quad -102.088)$$

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

$$I_4 = -2.334 + 0.443i$$

$$F(I_4) = (2.376 \quad 169.245)$$

$$I_5 := I_3 - I_4$$

$$I_5 = 1.649 - 3.64i$$

$$F(I_5) = (3.997 \quad -65.63)$$

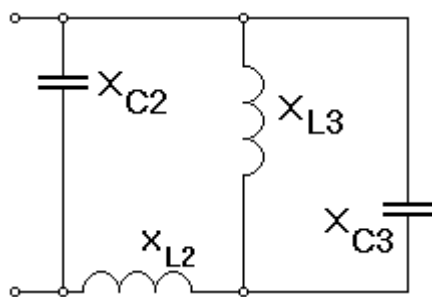
$$S_1 := U \cdot \overline{I_1}$$

$$S_1 = 409.151$$

$$P := (|I_3|)^2 \cdot R_1 + (|I_4|)^2 \cdot R_3 + (|I_5|)^2 \cdot R_4 \quad P = 409.151$$

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

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



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

$$L_2 = 0.111$$

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

$$L_3 = 0.127$$

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

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

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

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

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

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

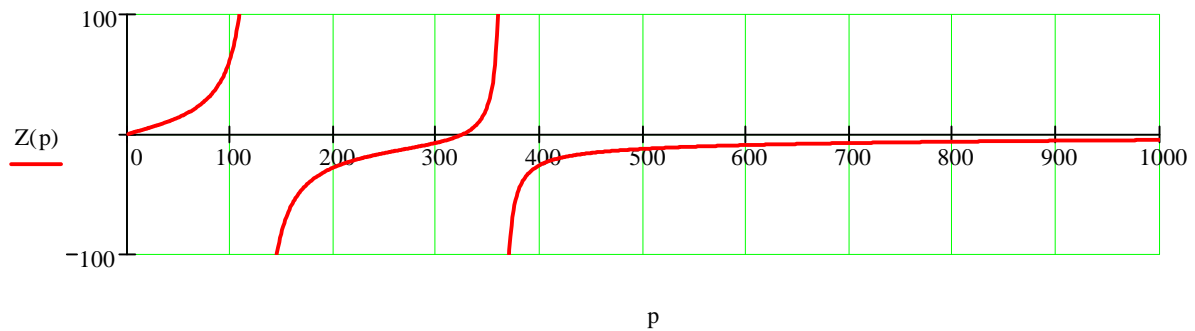
Знаходимо нулі:

$$\omega := Z(p) \left| \begin{array}{l} \text{solve, p} \\ \text{float, 7} \end{array} \right. \rightarrow \begin{pmatrix} 325.1860 \\ -325.1860 \\ 0 \end{pmatrix} \quad \omega = \begin{pmatrix} 325.186 \\ -325.186 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$\omega := (\omega_0 \ \omega_2) \quad \omega = (325.186 \ 0)$$

Знаходимо полюси:

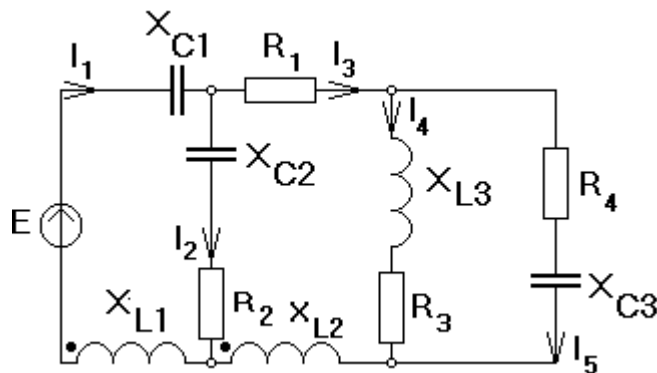
$$\omega_1 := \frac{1}{Z(p)} \left| \begin{array}{l} \text{solve, p} \\ \text{float, 11} \end{array} \right. \rightarrow \begin{pmatrix} 363.67878290 \\ -363.67878290 \\ 125.62566970 \\ -125.62566970 \end{pmatrix} \quad \omega_1 = \begin{pmatrix} 363.679 \\ -363.679 \\ 125.626 \\ -125.626 \end{pmatrix} \quad \omega_1 := \begin{pmatrix} \omega_{1_0} \\ \omega_{1_2} \end{pmatrix} \quad \omega_1 = \begin{pmatrix} 363.679 \\ 125.626 \end{pmatrix}$$



При наявності магнітного зв'язку між індуктивними елементами

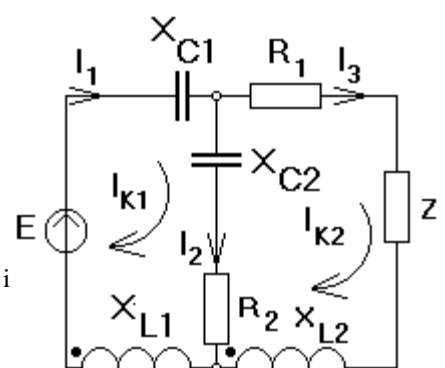
- 1) Перетворити схему до двох незалежних контурів, розрахувати струми у всіх вітках методом контурних струмів, визначити покази вольтметра;
- 2) Перевірити правильність розрахунків за балансом потужностей, визначити активну і реактивну потужності магнітного зв'язку;

імпеданс



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

$$Z = 29.274 - 8.767i$$



$$Z_{11} := R_2 + i \cdot (X_{L1} - X_{C1} - X_{C2}) \rightarrow 11 + 5 \cdot i$$

$$Z_{12} := R_2 + i \cdot (-X_{C2} - X_M) \rightarrow 11 - 35 \cdot i$$

$$Z_{22} := R_2 + R_1 + i \cdot (X_{L2} - X_{C2}) + Z \text{ float, 7} \rightarrow 49.27365 + 11.23311 \cdot i$$

Given

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

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

$$\begin{pmatrix} I_{K1} \\ I_{K2} \end{pmatrix} := \text{Find}(I_{K1}, I_{K2}) \rightarrow \begin{pmatrix} 1.3666316989225934132 - 3.3485594539406848053 \cdot i \\ -2.3433875355492457557 - 1.1840554433492285295 \cdot i \end{pmatrix}$$

$$I_{K1} = 1.367 - 3.349i$$

$$I_{K2} = -2.343 - 1.184i$$

$$I_1 := I_{K1}$$

$$I_1 = 1.367 - 3.349i$$

$$F(I_1) = (3.617 \ -67.798)$$

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

$$I_2 = 3.71 - 2.165i$$

$$F(I_2) = (4.295 \ -30.26)$$

$$I_3 := I_{K2}$$

$$I_3 = -2.343 - 1.184i$$

$$F(I_3) = (2.626 \ -153.194)$$

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

$$I_4 = -0.9 + 1.682i$$

$$F(I_4) = (1.908 \ 118.139)$$

$$I_5 := I_3 \cdot \frac{Z}{R_4 - i \cdot X_{C3}}$$

$$I_5 = -1.444 - 2.866i$$

$$F(I_5) = (3.209 \quad -116.736)$$

Перевірка за першим законом Кіргофа:

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

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

$$S_{M1} = -189.303 + 15.247i$$

$$F(S_{M1}) = (189.916 \quad 175.395)$$

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

$$S_{M2} = 189.303 + 15.247i$$

$$F(S_{M2}) = (189.916 \quad 4.605)$$

Перевірка за балансом потужностей

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

$$S_1 = 466.78 + 196.201i$$

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

$$P = 466.78$$

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

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

$$Q = 196.201i$$

Будуємо сумісну векторну діаграму струмів та топографічну діаграму напруг

Знаходимо потенціали точок:

$$\phi_a := 0$$

$$\phi_b := \phi_a + I_1 \cdot (i \cdot X_{L1})$$

$$\phi_b = 100.457 + 40.999i$$

$$F(\phi_b) = (108.501 \quad 22.202)$$

$$\phi_{b'} := \phi_b + I_3 \cdot i \cdot X_M$$

$$\phi_{b'} = 124.138 - 5.869i$$

$$F(\phi_{b'}) = (124.277 \quad -2.707)$$

$$\phi_c := \phi_{b'} + I_2 \cdot R_2$$

$$\phi_c = 164.948 - 29.678i$$

$$F(\phi_c) = (167.597 \quad -10.2)$$

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

$$\phi_d = 132.481 - 85.329i$$

$$F(\phi_d) = (157.582 \quad -32.785)$$

$$\phi_1 := \phi_d - I_1 \cdot i \cdot X_{C1}$$

$$\phi_1 = 98.995 - 98.995i$$

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

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

$$\phi_{1'} = 1.421 \times 10^{-14} - 1.421i \times F(\phi_{1'}) = (2.01 \times 10^{-14} \quad -45)$$

$$\phi_{e'} := \phi_{b'} + I_3 \cdot i \cdot X_{L2}$$

$$\phi_{e'} = 165.58 - 87.887i$$

$$F(\phi_{e'}) = (187.459 \quad -27.959)$$

$$\phi_e := \phi_{e'} + I_1 \cdot i \cdot X_M$$

$$\phi_e = 232.551 - 60.555i$$

$$F(\phi_e) = (240.306 \quad -14.595)$$

$$\phi_m := \phi_e + I_4 \cdot R_3$$

$$\phi_m = 220.856 - 38.687i$$

$$F(\phi_m) = (224.219 \quad -9.936)$$

$$\phi_n := \phi_m + I_4 \cdot i \cdot X_{L3}$$

$$\phi_n = 153.571 - 74.672i$$

$$F(\phi_n) = (170.763 \quad -25.931)$$

$$\phi_k := \phi_e + I_5 \cdot (-i \cdot X_{C3})$$

$$\phi_k = 175.227 - 31.679i$$

$$F(\phi_k) = (178.068 \quad -10.248)$$

$$\phi_n := \phi_k + I_5 \cdot R_4$$

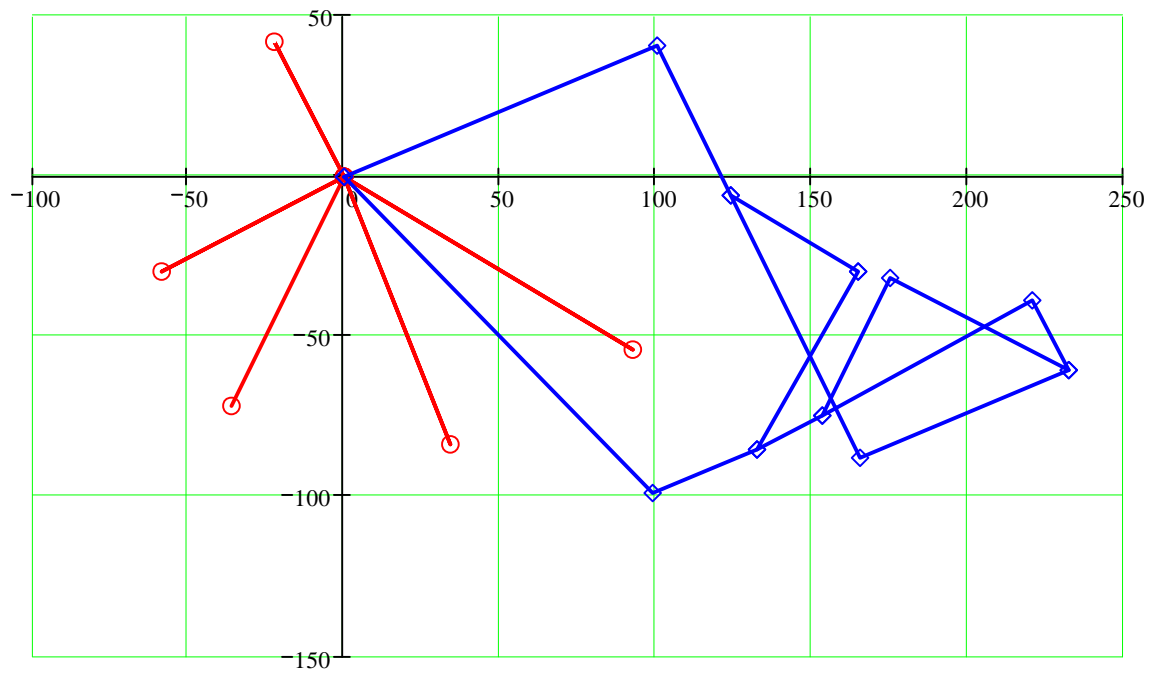
$$\phi_n = 153.571 - 74.672i$$

$$F(\phi_n) = (170.763 \quad -25.931)$$

$$\phi_d := \phi_n + I_3 \cdot R_1$$

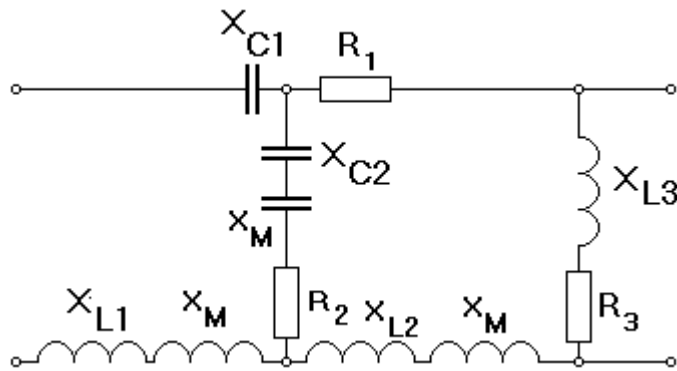
$$\phi_d = 132.481 - 85.329i$$

$$F(\phi_d) = (157.582 \quad -32.785)$$



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":

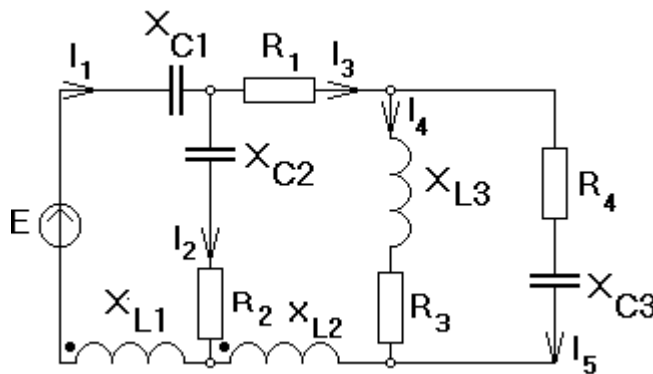
1) Розрахувати коефіцієнти чотириполіусника **A, B, C, D**



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

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

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



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

$$Z_2 := R_2 - i \cdot (X_{C2} + X_M) \rightarrow 11 - 35 \cdot i$$

$$Z_3 := R_3 + R_1 + i \cdot (X_{L2} + X_{L3} + X_M) \rightarrow 22 + 95 \cdot i$$

$$Z_E := \frac{Z_2 \cdot Z_3}{Z_2 + Z_3} + Z_1 \quad Z_E = 28.623 - 3.708i$$

$$I_{10} := \frac{U_{10}}{Z_E} \quad I_{10} = 3.842 - 2.961i \quad F(I_{10}) = (4.851 \quad -37.619)$$

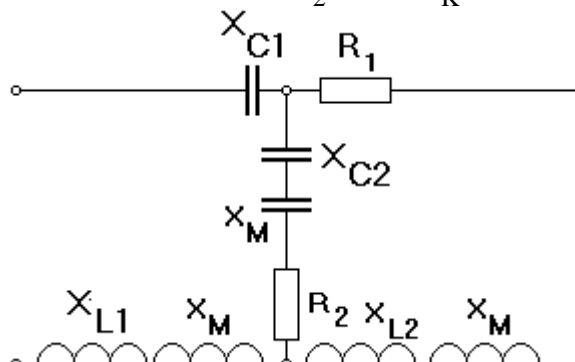
$$I_{30} := I_{10} \cdot \frac{Z_2}{Z_2 + Z_3} \quad I_{30} = -2.569 - 0.39i \quad F(I_{30}) = (2.599 \quad -171.361)$$

$$U_{20} := I_{30} \cdot (R_3 + i \cdot X_{L3}) \quad U_{20} = -17.788 - 107.851i \quad F(U_{20}) = (109.308 \quad -99.365)$$

$$A := \frac{U_{10}}{U_{20}} \quad A = 0.746 + 1.041i \quad F(A) = (1.281 \quad 54.365)$$

$$C := \frac{I_{10}}{U_{20}} \quad C = 0.021 + 0.039i \quad F(C) = (0.044 \quad 61.746)$$

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



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

$$Z_2 := R_2 - i \cdot (X_{C2} + X_M) \rightarrow 11 - 35 \cdot i$$

$$Z_3 := R_1 + i \cdot (X_{L2} + X_M) \rightarrow 9 + 55 \cdot i$$

$$Z_K := \frac{Z_2 \cdot Z_3}{Z_2 + Z_3} + Z_1 \quad Z_K = 57.85 - 3.35i$$

$$I_{1K} := \frac{U_K}{Z_K} \quad I_{1K} = 1.804 - 1.607i \quad F(I_{1K}) = (2.416 \quad -41.686)$$

$$I_{3K} := I_{1K} \cdot \frac{Z_2}{Z_2 + Z_3} \quad I_{3K} = -2.93 - 1.111i \quad F(I_{3K}) = (3.134 \quad -159.239)$$

$$B := \frac{U_K}{I_{3K}} \quad B = -18.34 + 40.736i \quad F(B) = (44.674 \quad 114.239)$$

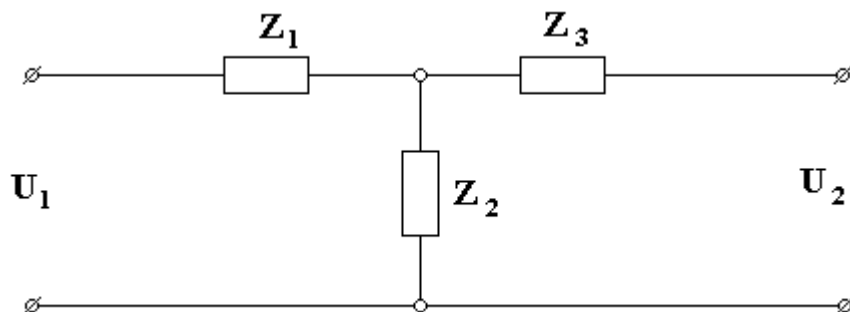
$$D := \frac{I_{1K}}{I_{3K}} \quad D = -0.357 + 0.684i \quad F(D) = (0.771 \quad 117.553)$$

Перевірка $A \cdot D - B \cdot C = 1$

$$F(A) = (1.281 \quad 54.365) \quad F(B) = (44.674 \quad 114.239)$$

$$F(C) = (0.044 \quad 61.746) \quad F(D) = (0.771 \quad 117.553)$$

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



$$Z_1 := \frac{A - 1}{C} \quad Z_1 = 17.955 + 16.142i \quad F(Z_1) = (24.144 \quad 41.956)$$

$$Z_2 := \frac{1}{C} \quad Z_2 = 11 - 35i \quad F(Z_2) = (36.688 \quad -72.553)$$

$$Z_3 := \frac{D - 1}{C} \quad Z_3 = -0.904 + 34.219i \quad F(Z_3) = (34.231 \quad 91.513)$$

$$R_1 := \operatorname{Re}(Z_1) \quad R_1 = 17.955 \quad X_1 := \operatorname{Im}(Z_1) \quad X_1 = 16.142$$

$$R_2 := \operatorname{Re}(Z_2) \quad R_2 = 10.667 \quad X_2 := \operatorname{Im}(Z_2) \quad X_2 = -19.85$$

$$R_3 := \operatorname{Re}(Z_3) \quad R_3 = -0.904 \quad X_3 := \operatorname{Im}(Z_3) \quad X_3 = 34.219$$

$$L_1 := \frac{X_1}{2 \cdot \pi \cdot f} \quad C := -\frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot X_2} \quad L_2 := \frac{X_3}{2 \cdot \pi \cdot f}$$

$$L_1 = 0.051 \quad C = 1.604 \times 10^{-4} \quad L_2 = 0.109$$