

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

Розрахунково-графічна робота
“Розрахунок однофазного кола синусоїдного струму”
Варіант № 711

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 закортити.

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 чотириполусника;
- 3.2. Розрахувати параметри R, L, C віток схеми заміщення.

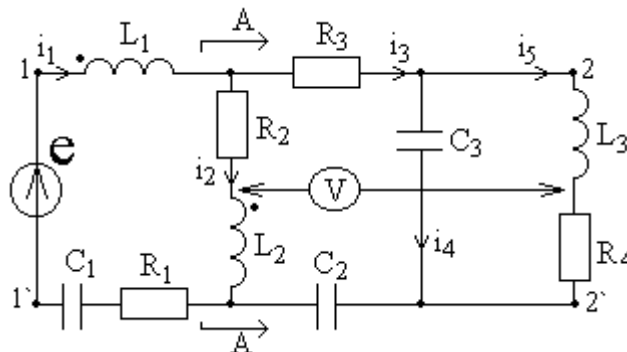
$$E := 220 \quad \psi := 50 \quad R_1 := 16 \quad R_2 := 14 \quad R_3 := 12 \quad R_4 := 10 \quad X_{L1} := 30 \quad X_{L2} := 35 \quad X_{L3} := 40$$

$$X_{C1} := 10 \quad X_{C2} := 15 \quad X_{C3} := 20 \quad X_M := 20 \quad f := 50$$

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

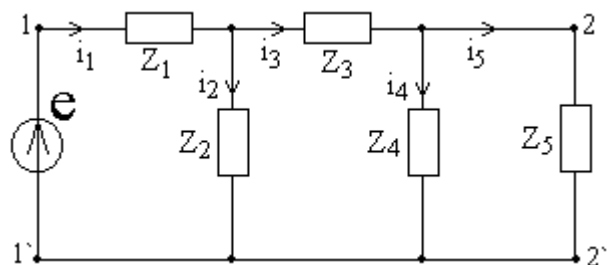
$$U = 141.413 + 168.53i$$

$$F(U) = (220 \ 50)$$



Символічний метод

$$\begin{aligned} Z_1 &:= R_1 + X_{L1} \cdot i - X_{C1} \cdot i & Z_1 &= 16 + 20i \\ Z_2 &:= R_2 + X_{L2} \cdot i & Z_2 &= 14 + 35i \\ Z_3 &:= R_3 - X_{C2} \cdot i & Z_3 &= 12 - 15i \\ Z_4 &:= -X_{C3} \cdot i & Z_4 &= -20i \\ Z_5 &:= R_4 + X_{L3} \cdot i & Z_5 &= 10 + 40i \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} Z_{345} &:= \frac{Z_5 \cdot Z_4}{Z_5 + Z_4} + Z_3 & Z_{345} &= 20 - 51i \\ Z_E &:= \frac{Z_2 \cdot Z_{345}}{Z_2 + Z_{345}} + Z_1 & Z_E &= 65.882 + 43.062i \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_1 &:= \frac{U}{Z_E} & I_1 &= 2.675 + 0.809i & F(I_1) &= (2.795 \quad 16.83) \\ I_2 &:= I_1 \cdot \frac{Z_{345}}{Z_{345} + Z_2} & I_2 &= 3.645 - 1.822i & F(I_2) &= (4.075 \quad -26.555) \\ I_3 &:= I_1 - I_2 & I_3 &= -0.97 + 2.631i & F(I_3) &= (2.804 \quad 110.23) \\ I_4 &:= I_3 \cdot \frac{Z_5}{Z_4 + Z_5} & I_4 &= -2.798 + 4.348i & F(I_4) &= (5.17 \quad 122.759) \\ I_5 &:= I_3 - I_4 & I_5 &= 1.828 - 1.717i & F(I_5) &= (2.508 \quad -43.205) \end{aligned}$$

Перевірка за першим законом Кіргофа:

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

Баланс потужностей електричного кола :

$$\begin{aligned} S_r &:= U \cdot I_1 & S_r &= 514.735 + 336.443i \\ P &:= (|I_1|)^2 \cdot R_1 + (|I_2|)^2 \cdot R_2 + (|I_3|)^2 \cdot R_3 + (|I_5|)^2 \cdot R_4 & P &= 514.735 \\ Q &:= (|I_1|)^2 \cdot (X_{L1} \cdot i - X_{C1} \cdot i) + (|I_2|)^2 \cdot X_{L2} \cdot i + (|I_3|)^2 \cdot (-X_{C2} \cdot i) + (|I_4|)^2 \cdot (-X_{C3} \cdot i) + (|I_5|)^2 \cdot X_{L3} \cdot i \\ & & Q &= 336.443i \end{aligned}$$

Знаходимо покази вольтметра: $V := |-I_2 \cdot R_2 + I_3 \cdot R_3 + I_5 \cdot i \cdot X_{L3}| \quad V = 130.342$

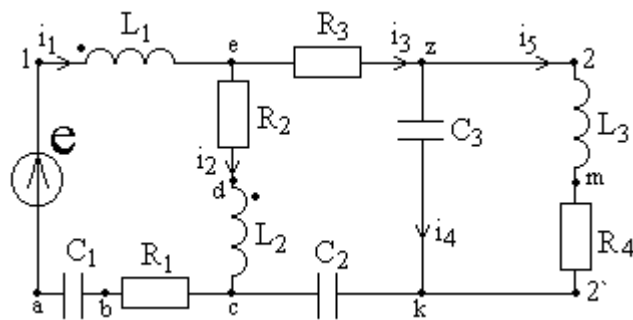
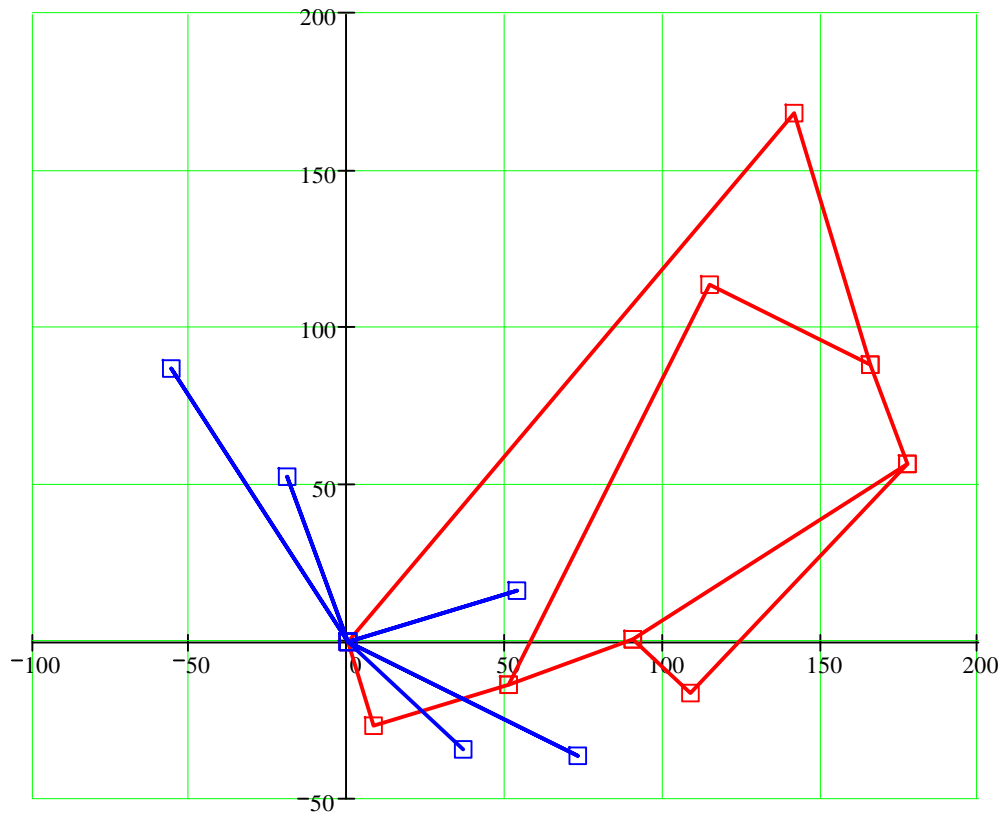
$$V := |I_2 \cdot i \cdot X_{L2} - I_3 \cdot (-j \cdot X_{C2}) - I_5 \cdot R_4| \quad V = 130.342$$

Будуємо сумісну векторну діаграму струмів та топографічну діаграму напруг

Визначимо потенціали всіх точок позначених на схемі:

$$\begin{aligned} \phi_a &:= 0 \\ \phi_b &:= \phi_a + I_1 \cdot (-X_{C1} \cdot i) & \phi_b &= 8.093 - 26.754i & F(\phi_b) &= (27.952 \quad -73.17) \\ \phi_c &:= \phi_b + I_1 \cdot R_1 & \phi_c &= 50.9 - 13.805i & F(\phi_c) &= (52.739 \quad -15.175) \\ \phi_d &:= \phi_c + I_2 \cdot X_{L2} \cdot i & \phi_d &= 114.662 + 113.771i & F(\phi_d) &= (161.528 \quad 44.777) \\ \phi_e &:= \phi_d + I_2 \cdot R_2 & \phi_e &= 165.693 + 88.267i & F(\phi_e) &= (187.737 \quad 28.045) \\ \phi_1 &:= \phi_e + I_1 \cdot X_{L1} \cdot i & \phi_1 &= 141.413 + 168.53i & F(\phi_1) &= (220 \quad 50) \\ \phi_A &:= \phi_1 - U & \phi_A &= -2.842i \times 10^{-14} & F(\phi_A) &= (2.842 \times 10^{-14} \quad -90) \\ \phi_k &:= \phi_c + I_3 \cdot (-X_{C2} \cdot i) & \phi_k &= 90.366 + 0.739i & F(\phi_k) &= (90.369 \quad 0.468) \\ \phi_z &:= \phi_k + I_4 \cdot (-X_{C3} \cdot i) & \phi_z &= 177.328 + 56.694i & F(\phi_z) &= (186.17 \quad 17.73) \\ \phi_m &:= \phi_k + I_5 \cdot R_4 & \phi_m &= 108.647 - 16.431i & F(\phi_m) &= (109.883 \quad -8.6) \end{aligned}$$

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.

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

$$Z_3 = -15i$$

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

$$Z_4 = 12 + 40i$$

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

$$Z_5 = 10 - 20i$$

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

$$Z_E = 26.516 - 31.833i$$

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

$$R_E = 26.516$$

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

$$X_E = -31.833$$

Умова резонансу струмів на ділянці "ab" :

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

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

$$B_2 = 0.019$$

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

$$X_2 = 53.92$$

Додатний знак свідчить про індуктивний характер опору

Розрахувати струми для резонансного стану кола;

$$Z_1 := R_1 + X_{L1} \cdot i - X_{C1} \cdot i \quad Z_1 = 16 + 20i$$

$$Z_3 := R_3 - X_{C2} \cdot i \quad Z_3 = 12 - 15i$$

$$Z_4 := -X_{C3} \cdot i \quad Z_4 = -20i$$

$$Z_5 := R_4 + X_{L3} \cdot i \quad Z_5 = 10 + 40i$$

$$Z_{345} := \frac{Z_5 \cdot Z_4}{Z_5 + Z_4} + Z_3 \quad Z_{345} = 20 - 51i$$

Вхідний опір кола:

$$Z_{VX}(X_N) := \frac{Z_{345} \cdot i \cdot X_N}{Z_{345} + i \cdot X_N} + Z_1 \rightarrow (51 + 20 \cdot i) \cdot \frac{X_N}{(20 - 51 \cdot i + i \cdot X_N)} + 16 + 20 \cdot i$$

$$Z_{VX}(X_N) \left| \begin{array}{l} \text{complex} \\ \text{simplify} \end{array} \right. \rightarrow \frac{-\left(1632 \cdot X_N - 36 \cdot X_N^2 - 48016 - 961 \cdot i \cdot X_N + 31 \cdot i \cdot X_N^2 - 60020 \cdot i\right)}{\left(3001 - 102 \cdot X_N + X_N^2\right)}$$

Уявна частина вхідного опору, яка за умовою резонансу дорівнює нулю:

$$X_{VX}(X_N) := \text{Im}(Z_{VX}(X_N)) \left| \begin{array}{l} \text{complex} \\ \text{simplify} \end{array} \right. \rightarrow \frac{-\left(-961 \cdot X_N + 31 \cdot X_N^2 - 60020\right)}{\left(3001 - 102 \cdot X_N + X_N^2\right)}$$

Нулі функції (уявної частини вхідного опору) дорівнюють:

$$X_N := X_{VX}(X_N) \left| \begin{array}{l} \text{solve, } X_N \\ \text{float, } 50 \end{array} \right. \rightarrow \left(\begin{array}{l} 62.151677700357835213811659039480508257177292339442 \\ -31.151677700357835213811659039480508257177292339442 \end{array} \right)$$

Отже резонанс кола неможливий при будь-яких опорах у другій вітці, так як: $X_N = \left(\begin{array}{l} 62.152 \\ -31.152 \end{array} \right)$

$$X_n := X_{N0} \quad X_n = 62.152$$

$$Z_{VX}(X_n) = 163.335$$

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

$$I_1 = 0.866 + 1.032i$$

$$F(I_1) = (1.347 \quad 50)$$

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

$$I_2 = 2.167 - 2.384i$$

$$F(I_2) = (3.222 \quad -47.73)$$

$$I_3 := I_1 - I_2$$

$$I_3 = -1.302 + 3.416i$$

$$F(I_3) = (3.656 \quad 110.857)$$

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

$$I_4 = -3.709 + 5.629i$$

$$F(I_4) = (6.741 \quad 123.385)$$

$$I_5 := I_3 - I_4$$

$$I_5 = 2.408 - 2.212i$$

$$F(I_5) = (3.27 \quad -42.578)$$

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

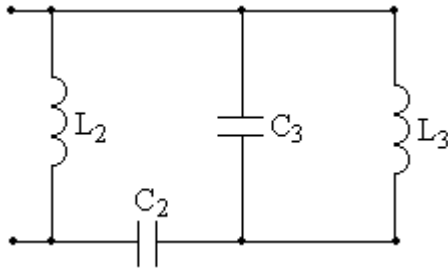
$$S_1 = 296.323$$

$$P := \left(|I_1|\right)^2 \cdot R_1 + \left(|I_3|\right)^2 \cdot R_3 + \left(|I_5|\right)^2 \cdot R_4 \quad P = 296.323$$

$$Q := \left(|I_1|\right)^2 \cdot (X_{L1} - X_{C1}) + \left(|I_2|\right)^2 \cdot X_n + \left(|I_3|\right)^2 \cdot (-X_{C2}) + \left(|I_4|\right)^2 \cdot (-X_{C3}) + \left(|I_5|\right)^2 \cdot X_{L3} \quad Q = -2.842 \times 10^{-13}$$

$$\begin{array}{lll}
\text{При} & X_n := X_{N_1} & X_n = -31.152 \quad Z_{VX}(X_n) = 18.715 \\
I_1 := \frac{U}{Z_{VX}(X_n)} & I_1 = 7.556 + 9.005i & F(I_1) = (11.755 \ 50) \\
I_2 := I_1 \cdot \frac{Z_{345}}{Z_{345} + i \cdot X_n} & I_2 = 4.066 + 6.44i & F(I_2) = (7.616 \ 57.73) \\
I_3 := I_1 - I_2 & I_3 = 3.49 + 2.565i & F(I_3) = (4.331 \ 36.317) \\
I_4 := I_3 \cdot \frac{Z_5}{Z_4 + Z_5} & I_4 = 5.256 + 6.013i & F(I_4) = (7.986 \ 48.846) \\
I_5 := I_3 - I_4 & I_5 = -1.766 - 3.448i & F(I_5) = (3.874 \ -117.118) \\
S_1 := U \cdot \overline{I_1} & S_1 = 2.586 \times 10^3 & \\
P := \left(|I_1| \right)^2 \cdot R_1 + \left(|I_3| \right)^2 \cdot R_3 + \left(|I_5| \right)^2 \cdot R_4 & P = 2.586 \times 10^3 & \\
Q := \left(|I_1| \right)^2 \cdot (X_{L1} - X_{C1}) + \left(|I_2| \right)^2 \cdot X_n + \left(|I_3| \right)^2 \cdot (-X_{C2}) + \left(|I_4| \right)^2 \cdot (-X_{C3}) + \left(|I_5| \right)^2 \cdot X_{L3} & Q = 3.411 \times 10^{-13} &
\end{array}$$

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



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

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

$$L_3 = 0.127$$

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

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

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

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

$$L_2 := \frac{X_{L2}}{\omega}$$

$$L_2 = 0.111$$

Знаходимо нулі: $Z(p) = 0$

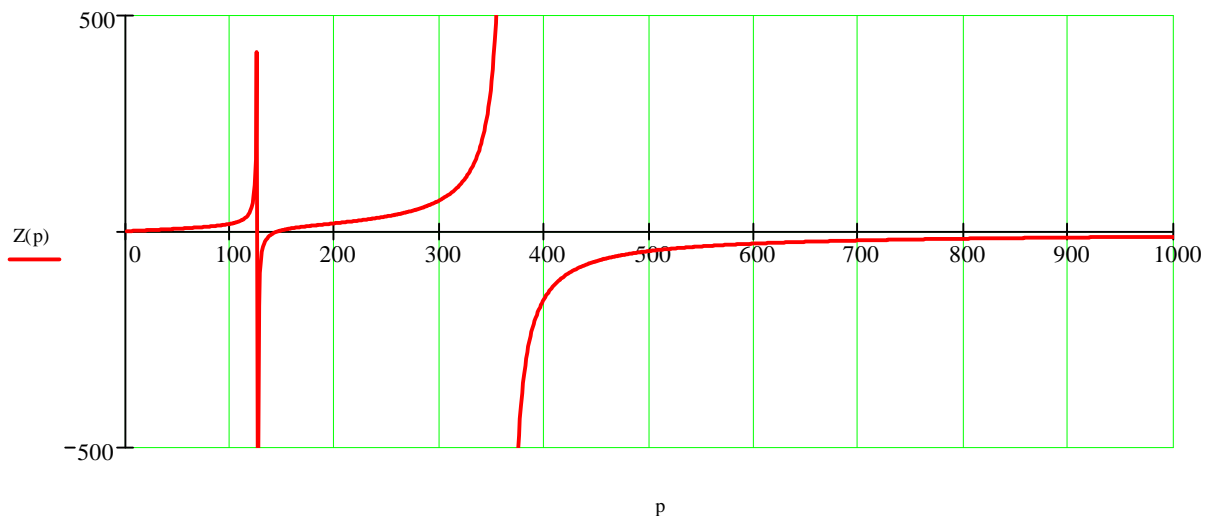
$$w_1 := Z(p) \left| \begin{array}{l} \text{solve, } p \\ \text{float, } 3 \end{array} \right. \rightarrow \begin{pmatrix} 0 \\ 145. \\ -145. \end{pmatrix}$$

$$w_1 := \begin{pmatrix} w_{10} \\ w_{11} \end{pmatrix} \quad w_1 = \begin{pmatrix} 0 \\ 145 \end{pmatrix}$$

Знаходимо полюси: $\frac{1}{Z(p)} = 0$

$$w := \frac{1}{Z(p)} \left| \begin{array}{l} \text{solve, } p \\ \text{float, } 10 \end{array} \right. \rightarrow \begin{pmatrix} 363.6787829 \\ -363.6787829 \\ 125.6256696 \\ -125.6256696 \end{pmatrix}$$

$$w := \begin{pmatrix} w_0 \\ w_2 \end{pmatrix} \quad w = \begin{pmatrix} 363.679 \\ 125.626 \end{pmatrix}$$



2. ПРИ НАЯВНОСТІ МАГНІТНОГО ЗВ'ЯЗКУ МІЖ ІНДУКТИВНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ L1 ТА L2 (ОДНОЙМЕННІ ПОЧАТКИ ПОЗНАЧЕНІ НА СХЕМІ ТОЧКАМИ):

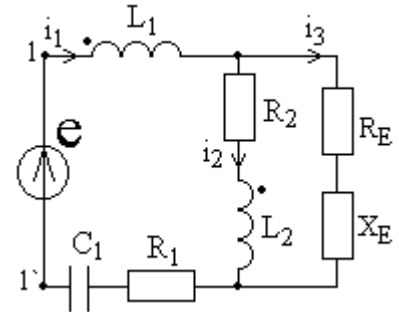
2.1. Перетворивши схему до двох незалежних контурів, розрахувати струми у всіх вітках схеми методом контурних струмів, визначити покази вольметра;

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

$$\begin{aligned} Z_3 &:= R_3 - X_{C2} \cdot i & Z_3 &= 12 - 15i \\ Z_4 &:= -X_{C3} \cdot i & Z_4 &= -20i \\ Z_5 &:= R_4 + X_{L3} \cdot i & Z_5 &= 10 + 40i \\ Z_{345} &:= \frac{Z_5 \cdot Z_4}{Z_5 + Z_4} + Z_3 & Z_{345} &= 20 - 51i \end{aligned}$$



$$R_E := \operatorname{Re}(Z_{345}) \quad R_E = 20 \quad X_E := \operatorname{Im}(Z_{345}) \quad X_E = -51$$

Знайдемо контурні та міжконтурні опори схеми:

$$\begin{aligned} Z_{11} &:= R_1 + R_2 + X_{L2} \cdot i + X_{L1} \cdot i - X_{C1} \cdot i + 2 \cdot X_M \cdot i & Z_{11} &= 30 + 95i \\ Z_{22} &:= R_E + X_E \cdot i + X_{L2} \cdot i + R_2 & Z_{22} &= 34 - 16i \\ Z_{12} &:= R_2 + X_{L2} \cdot i + X_M \cdot i & Z_{21} &:= Z_{12} & Z_{12} &= 14 + 55i \\ U &= 141.413 + 168.53i & F(U) &= (220 \ 50) \end{aligned}$$

Given

$$\begin{aligned} I_1 \cdot (Z_{11}) - I_3 \cdot (Z_{12}) &= U \\ -I_1 \cdot (Z_{21}) + I_3 \cdot (Z_{22}) &= 0 \\ \begin{pmatrix} I_1 \\ I_3 \end{pmatrix} &:= \operatorname{Find}(I_1, I_3) & I_2 &:= I_1 - I_3 & I_1 &= 1.469 + 0.315i & F(I_1) &= (1.502 \ 12.098) \\ & & I_2 &= 2.356 - 1.773i & I_2 &= 2.356 - 1.773i & F(I_2) &= (2.949 \ -36.968) \\ & & I_3 &= -0.887 + 2.088i & I_3 &= -0.887 + 2.088i & F(I_3) &= (2.269 \ 113.018) \\ I_4 &:= I_3 \cdot \frac{Z_5}{Z_4 + Z_5} & I_4 &= -2.432 + 3.404i & I_4 &= -2.432 + 3.404i & F(I_4) &= (4.183 \ 125.547) \\ I_5 &:= I_3 - I_4 & I_5 &= 1.545 - 1.316i & I_5 &= 1.545 - 1.316i & F(I_5) &= (2.029 \ -40.416) \end{aligned}$$

Баланс потужностей електричного кола :

$$\begin{aligned} S_r &:= U \cdot \overline{I_1} & S_r &= 260.751 + 203i \\ P_r &:= \operatorname{Re}(S_r) & P_r &= 260.751 & Q_r &:= \operatorname{Im}(S_r) & Q_r &= 203 \\ S_{M1} &:= \overline{I_1} \cdot I_2 \cdot X_M \cdot i & S_{M1} &= 66.919 + 58.035i & F(S_{M1}) &= (88.579 \ 40.933) \\ S_{M2} &:= \overline{I_2} \cdot I_1 \cdot X_M \cdot i & S_{M2} &= -66.919 + 58.035i & F(S_{M2}) &= (88.579 \ 139.067) \\ S_{KC} &:= (|I_1|)^2 \cdot (X_{L1} \cdot i + R_1 - X_{C1} \cdot i) + (|I_2|)^2 \cdot (R_2 + X_{L2} \cdot i) + (|I_3|)^2 \cdot (R_E + X_E \cdot i) + S_{M1} + S_{M2} \\ S_{KC} &= 260.751 + 203i \end{aligned}$$

Знаходимо покази вольметра:

$$\begin{aligned} V &:= \left| -I_2 \cdot (R_2 + X_M \cdot i) + I_3 \cdot (R_3 - X_{C2} \cdot i) + I_5 \cdot (X_{L3} \cdot i) \right| & V &= 83.711 \\ V &:= \left| I_2 \cdot i \cdot (X_{L2}) - I_3 \cdot [-i \cdot (X_{C2})] - I_5 \cdot (R_4) \right| & V &= 83.711 \end{aligned}$$

Визначимо потенціали всіх точок позначених на схемі:

$$\phi_a := 0$$

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

$$\phi_b = 3.148 - 14.687i$$

$$F(\phi_b) = (15.021 \quad -77.902)$$

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

$$\phi_c = 26.647 - 9.65i$$

$$F(\phi_c) = (28.341 \quad -19.907)$$

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

$$\phi_{d'} = 88.709 + 72.803i$$

$$F(\phi_{d'}) = (114.759 \quad 39.376)$$

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

$$\phi_d = 82.413 + 102.177i$$

$$F(\phi_d) = (131.271 \quad 51.112)$$

$$\phi_e := \phi_d + I_2 \cdot R_2$$

$$\phi_e = 115.394 + 77.353i$$

$$F(\phi_e) = (138.922 \quad 33.835)$$

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

$$\phi_{1'} = 105.949 + 121.414i$$

$$F(\phi_{1'}) = (161.141 \quad 48.891)$$

$$\phi_1 := \phi_{1'} + I_2 \cdot X_M \cdot i$$

$$\phi_1 = 141.413 + 168.53i$$

$$F(\phi_1) = (220 \quad 50)$$

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

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

$$F(\phi_A) = (4.019 \times 10^{-14} \quad -135)$$

$$\phi_k := \phi_c + I_3 \cdot (-X_{C2} \cdot i)$$

$$\phi_k = 57.968 + 3.657i$$

$$F(\phi_k) = (58.083 \quad 3.609)$$

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

$$\phi_z = 126.039 + 52.296i$$

$$F(\phi_z) = (136.458 \quad 22.535)$$

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

$$\phi_e = 115.394 + 77.353i$$

$$F(\phi_e) = (138.922 \quad 33.835)$$

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

$$\phi_m = 73.417 - 9.499i$$

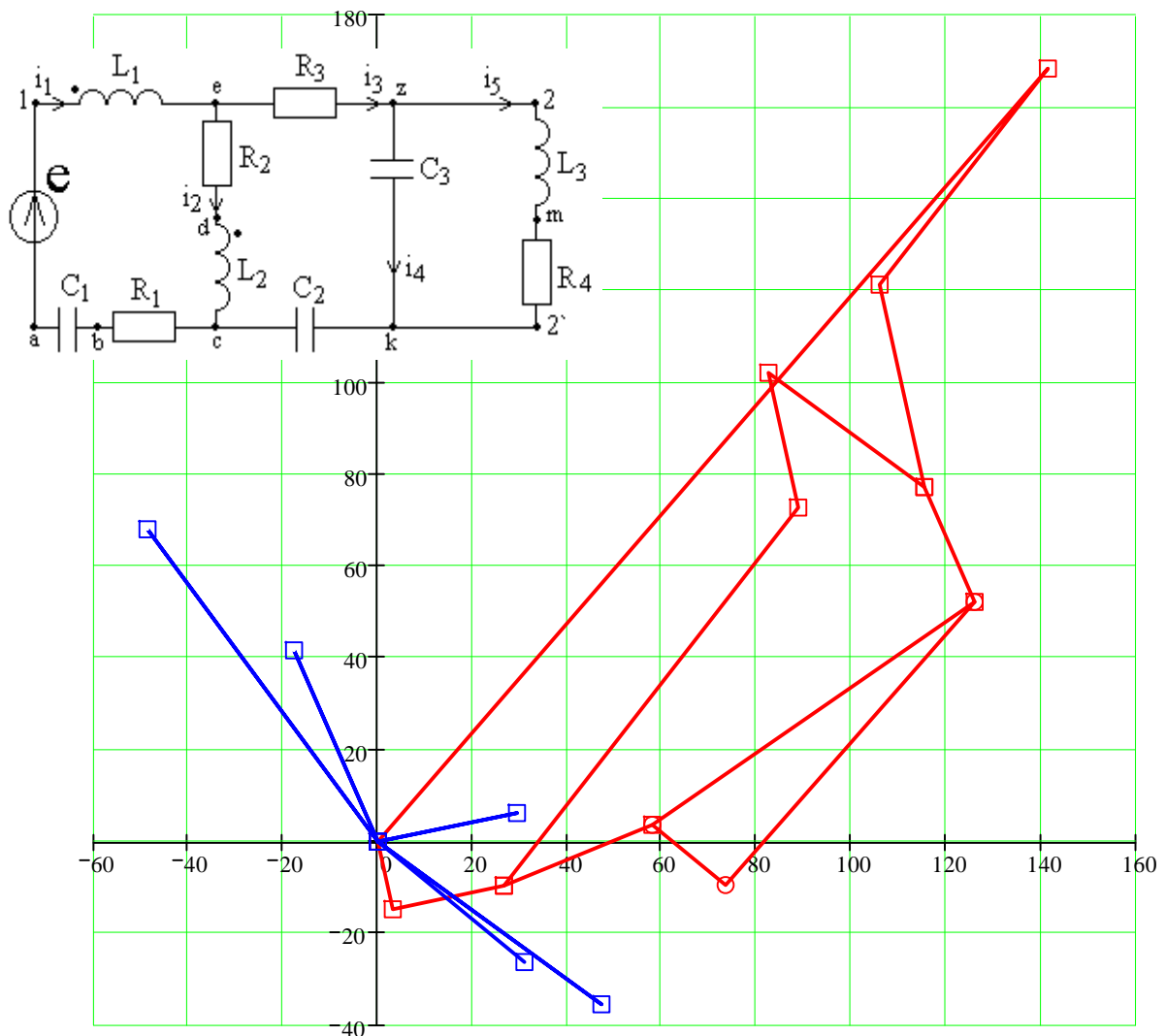
$$F(\phi_m) = (74.028 \quad -7.372)$$

$$\phi_z := \phi_m + I_5 \cdot X_{L3} \cdot i$$

$$\phi_z = 126.039 + 52.296i$$

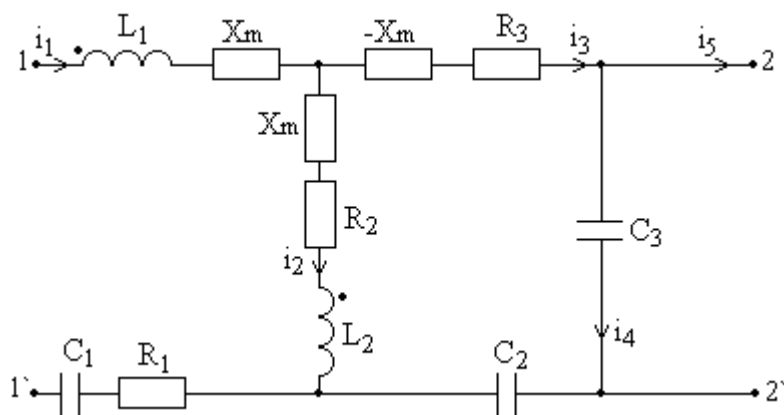
$$F(\phi_z) = (136.458 \quad 22.535)$$

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" :

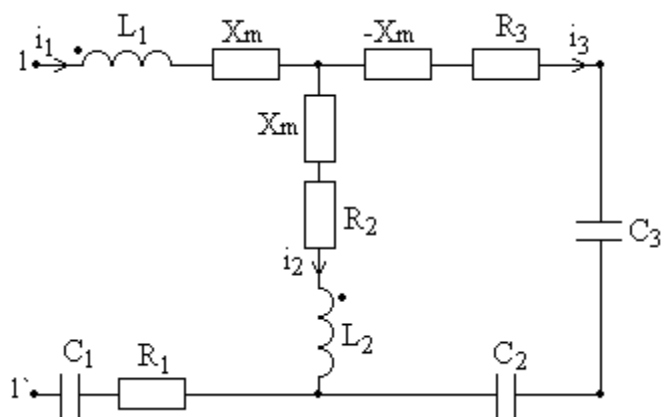
1) Розрахувати коефіцієнти чотириполосника **A, B, C, D**



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

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

Неробочий хід: $I_2 = 0$ $U_{10} := U$



$$Z_1 := R_1 + j \cdot (X_{L1} + X_M - X_{C1}) \quad Z_1 = 16 + 40i$$

$$Z_2 := R_2 + j \cdot (X_{L2} + X_M) \quad Z_2 = 14 + 55i$$

$$Z_3 := R_3 - j \cdot (X_M + X_{C3} + X_{C2}) \quad Z_3 = 12 - 55i$$

$$Z_{10} := \frac{Z_2 \cdot Z_3}{Z_2 + Z_3} + Z_1 \quad Z_{10} = 138.808 + 35.769i$$

$$Z_{20} := \frac{Z_1 \cdot Z_2}{Z_1 + Z_2} + Z_3 \quad Z_{20} = 19.811 - 31.734i$$

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

$$I_{10} = 1.249 + 0.892i$$

$$F(I_{10}) = (1.535 \quad 35.55)$$

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

$$I_{30} = -1.215 + 3.122i$$

$$F(I_{30}) = (3.35 \quad 111.269)$$

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

$$U_{20} = 62.44 + 24.305i$$

$$F(U_{20}) = (67.004 \quad 21.269)$$

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

$$A = 2.879 + 1.578i$$

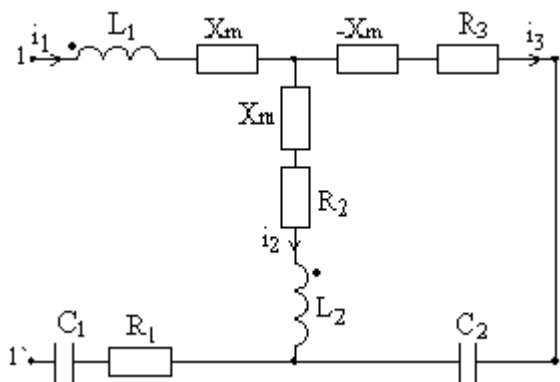
$$F(A) = (3.283 \quad 28.731)$$

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

$$C = 0.022 + 5.65i \times 10^{-3}$$

$$F(C) = (0.023 \quad 14.281)$$

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



$$Z_1 = 16 + 40i$$

$$Z_2 := R_2 + j \cdot (X_{L2} + X_M) \quad Z_2 = 14 + 55i$$

$$Z_3 := R_3 - j \cdot (X_M + X_{C2}) \quad Z_3 = 12 - 35i$$

$$Z_K := \frac{Z_2 \cdot Z_3}{Z_2 + Z_3} + Z_1 \quad Z_K = 69.734 + 5.204i$$

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

$$I_{1K} = 2.196 + 2.253i$$

$$F(I_{1K}) = (3.146 \quad 45.732)$$

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

$$I_{2K} = 0.58 + 5.412i$$

$$F(I_{2K}) = (5.443 \quad 83.882)$$

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

$$B = 33.554 - 22.532i$$

$$F(B) = (40.417 \quad -33.882)$$

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

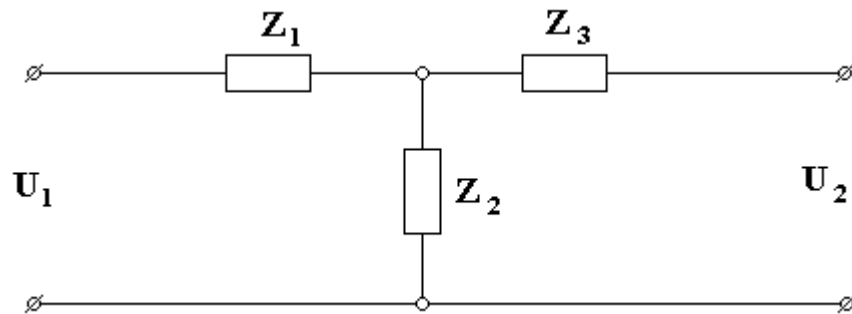
$$D = 0.455 - 0.357i$$

$$F(D) = (0.578 \quad -38.15)$$

Перевірка

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

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



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

$$Z_1 = 96.5 + 46.538i$$

$$F(Z_1) = (107.136 \quad 25.746)$$

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

$$Z_2 = 14 + 55i$$

$$F(Z_2) = (56.754 \quad 75.719)$$

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

$$Z_3 = -26.923 - 9.231i$$

$$F(Z_3) = (28.462 \quad -161.075)$$

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

$$R_1 = 96.5$$

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

$$X_1 = 46.538$$

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

$$R_2 = 42.308$$

$$X_2 := \operatorname{Im}(Z_2)$$

$$X_2 = -10.769$$

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

$$R_3 = -26.923$$

$$X_3 := \operatorname{Im}(Z_3)$$

$$X_3 = -9.231$$

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

$$C_2 := -\frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot X_2}$$

$$C_3 := -\frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot X_3}$$

$$L_1 = 0.148$$

$$C_2 = 2.956 \times 10^{-4}$$

$$C_3 = 3.448 \times 10^{-4}$$