

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

Розрахунково-графічна робота
“Розрахунок однофазного кола синусоїдного струму”
Варіант № 161

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.

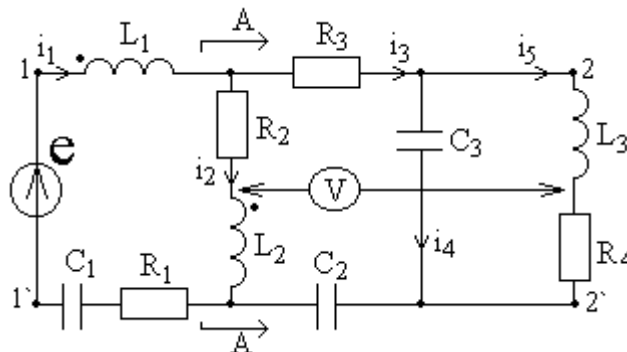
$$E := 100 \quad \psi := -20 \quad R_1 := 5 \quad R_2 := 7 \quad R_3 := 9 \quad R_4 := 12 \quad X_{L1} := 40 \quad X_{L2} := 35 \quad X_{L3} := 25$$

$$X_{C1} := 15 \quad X_{C2} := 10 \quad X_{C3} := 8 \quad X_M := 20 \quad f := 50$$

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

$$U = 93.969 - 34.202i$$

$$F(U) = (100 \quad -20)$$



Символічний метод

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

$$Z_1 = 5 + 25i$$

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

$$Z_2 = 7 + 35i$$

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

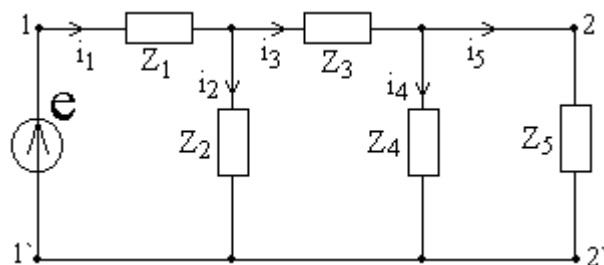
$$Z_3 = 9 - 10i$$

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

$$Z_4 = -8i$$

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

$$Z_5 = 12 + 25i$$



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

$$Z_{345} = 10.774 - 20.513i$$

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

$$Z_E = 38.252 + 11.033i$$

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

$$I_1 = 2.03 - 1.48i$$

$$F(I_1) = (2.512 \quad -36.089)$$

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

$$I_2 = -1.873 - 1.713i$$

$$F(I_2) = (2.538 \quad -137.563)$$

$$I_3 := I_1 - I_2$$

$$I_3 = 3.903 + 0.233i$$

$$F(I_3) = (3.91 \quad 3.418)$$

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

$$I_4 = 5.077 + 1.172i$$

$$F(I_4) = (5.211 \quad 12.994)$$

$$I_5 := I_3 - I_4$$

$$I_5 = -1.174 - 0.939i$$

$$F(I_5) = (1.503 \quad -141.365)$$

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 :

$$S_r := U \cdot I_1$$

$$S_r = 241.345 + 69.61i$$

$$P := (|I_1|)^2 \cdot R_1 + (|I_2|)^2 \cdot R_2 + (|I_3|)^2 \cdot R_3 + (|I_5|)^2 \cdot R_4$$

$$P = 241.345$$

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

$$Q = 69.61i$$

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

$$V = 73.31$$

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

$$V = 73.31$$

Будуємо сумісну векторну діаграму струмів та топографічну діаграму напруг

Визначимо потенціали всіх точок позначених на схемі:

$$\phi_a := 0$$

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

$$\phi_b = -22.194 - 30.447i$$

$$F(\phi_b) = (37.677 \quad -126.089)$$

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

$$\phi_c = -12.044 - 37.845i$$

$$F(\phi_c) = (39.716 \quad -107.654)$$

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

$$\phi_d = 47.899 - 103.406i$$

$$F(\phi_d) = (113.961 \quad -65.146)$$

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

$$\phi_e = 34.787 - 115.395i$$

$$F(\phi_e) = (120.524 \quad -73.224)$$

$$\phi_1 := \phi_e + I_1 \cdot X_{L1} \cdot i$$

$$\phi_1 = 93.969 - 34.202i$$

$$F(\phi_1) = (100 \quad -20)$$

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

$$\phi_A = -1.421 \times 10^{-14} - 7.105i \times 10^{-15}$$

$$F(\phi_A) = (1.589 \times 10^{-14} \quad -153.435)$$

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

$$\phi_k = -9.714 - 76.875i$$

$$F(\phi_k) = (77.486 \quad -97.201)$$

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

$$\phi_z = -0.34 - 117.493i$$

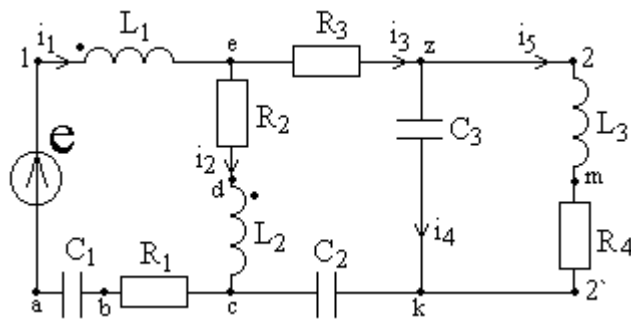
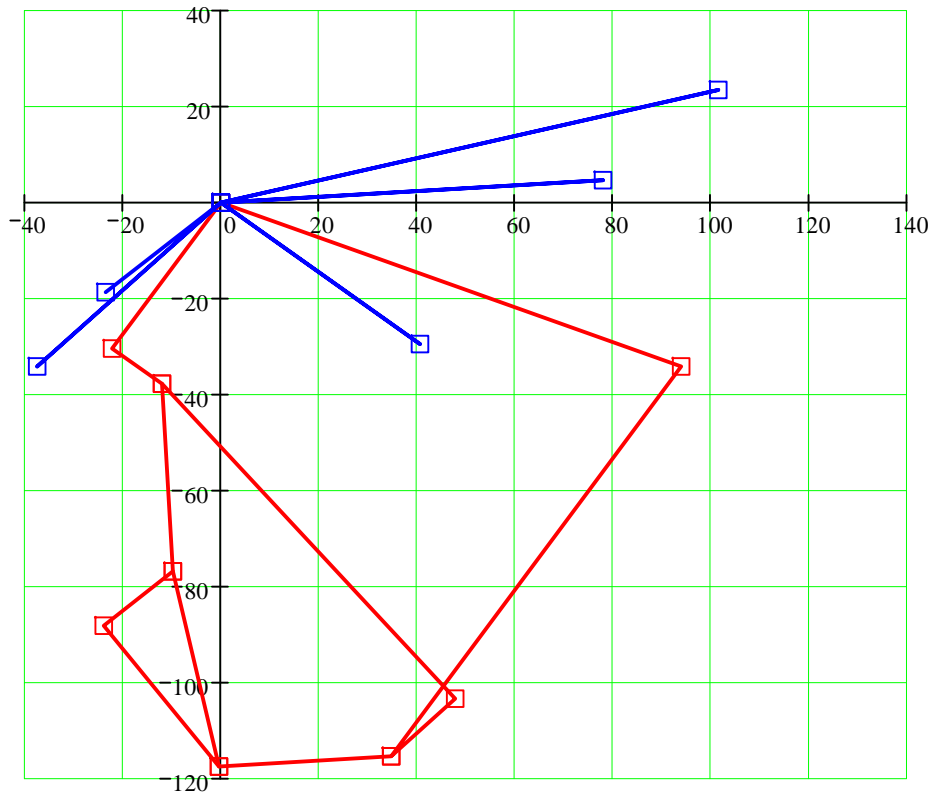
$$F(\phi_z) = (117.493 \quad -90.166)$$

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

$$\phi_m = -23.804 - 88.138i$$

$$F(\phi_m) = (91.295 \quad -105.114)$$

Суміщена векторна діаграма струмів і топографічна діаграма напруг:



Прийнявши активний опір R_2 за нульовий і вважаючи реактивний опір цієї вітки невідомий, розрахувати його за умови резонансу струмів.

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

$$Z_3 = -10i$$

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

$$Z_4 = 9 + 25i$$

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

$$Z_5 = 12 - 8i$$

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

$$Z_E = 14.17 - 10.614i$$

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

$$R_E = 14.17$$

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

$$X_E = -10.614$$

Умова резонансу струмів на ділянці "ab" :

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

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

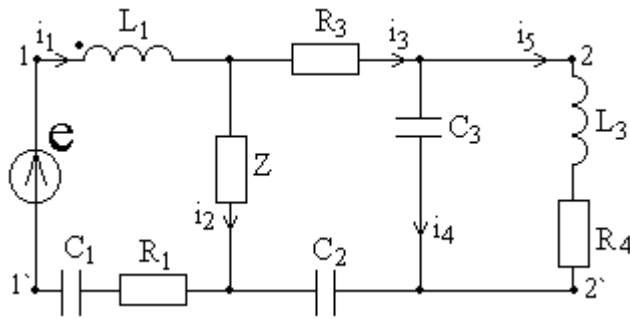
$$B_2 = 0.034$$

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

$$X_2 = 29.531$$

Додатний знак свідчить про індуктивний характер опору

Розрахувати струми для резонансного стану кола;



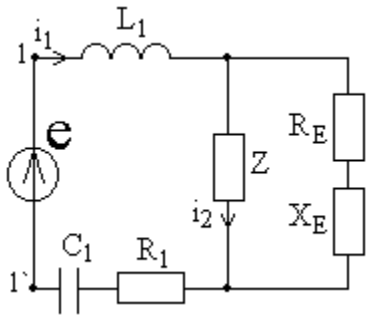
$$Z := \frac{(R_4 + X_{L3} \cdot i) \cdot (-X_{C3} \cdot i)}{R_4 + X_{L3} \cdot i - X_{C3} \cdot i} + R_3 - X_{C2} \cdot i$$

$$Z = 10.774 - 20.513i$$

$$Z = R_E - X_E \cdot i$$

$$R_E := \text{Re}(Z) \quad R_E = 10.774$$

$$X_E := |\text{Im}(Z)| \quad X_E = 20.513$$



За умовою резонансу: $B_X = B_E = \frac{-X_E}{R_E^2 + X_E^2}$

$$B_X := \frac{-X_E}{R_E^2 + X_E^2} \quad B_X = -0.038$$

Реактивний опір вітки: $X := \left| \frac{1}{B_X} \right| \quad X = 26.171$

Розрахувати струми для резонансного стану кола

$$Z_1 := R_1 + X_{L1} \cdot i - X_{C1} \cdot i \quad Z_1 = 5 + 25i$$

$$Z_3 := R_3 - X_{C2} \cdot i \quad Z_3 = 9 - 10i$$

$$Z_4 := -X_{C3} \cdot i \quad Z_4 = -8i$$

$$Z_5 := R_4 + X_{L3} \cdot i \quad Z_5 = 12 + 25i$$

$$Z_{345} := \frac{Z_5 \cdot Z_4}{Z_5 + Z_4} + Z_3 \quad Z_{345} = 10.774 - 20.513i$$

Вхідний опір кола:

$$Z_{VX}(X_N) := \frac{Z_{345} \cdot i \cdot X_N}{Z_{345} + i \cdot X_N} + Z_1 \rightarrow \left(\frac{8882}{433} + \frac{4665}{433} \cdot i \right) \cdot \frac{X_N}{\left(\frac{4665}{433} - \frac{8882}{433} \cdot i + i \cdot X_N \right)} + 5 + 25 \cdot i$$

$$Z_{VX}(X_N) \left| \begin{array}{l} \text{complex} \\ \text{simplify} \end{array} \right. \rightarrow \frac{(-88820 \cdot X_N + 6830 \cdot X_N^2 + 1162265 - 211647 \cdot i \cdot X_N + 1943 \cdot i \cdot X_N^2 + 5811325 \cdot i)}{(232453 - 17764 \cdot X_N + 433 \cdot X_N^2)}$$

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

$$X_{VX}(X_N) := \text{Im}(Z_{VX}(X_N)) \left| \begin{array}{l} \text{complex} \\ \text{simplify} \end{array} \right. \rightarrow \frac{(-211647 \cdot X_N + 1943 \cdot X_N^2 + 5811325)}{(232453 - 17764 \cdot X_N + 433 \cdot X_N^2)}$$

Нулі функції (уявної частини вхідного опору) дорівнюють:

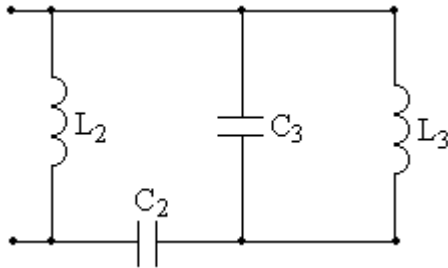
$$X_N := X_{VX}(X_N) \left| \begin{array}{l} \text{solve, } X_N \rightarrow \begin{pmatrix} 54.464 + 4.9577 \cdot i \\ 54.464 - 4.9577 \cdot i \end{pmatrix} \\ \text{float, 5} \end{array} \right.$$

Отже резонанс кола неможливий при будь-яких опорах у другій вітці, так як:

$$X_N = \begin{pmatrix} 54.464 + 4.958i \\ 54.464 - 4.958i \end{pmatrix}$$

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

закоротити



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

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

$$L_3 = 0.08$$

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

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

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

$$C_3 = 3.979 \times 10^{-4}$$

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

$$L_2 = 0.111$$

Знаходимо нулі: $Z(p) = 0$

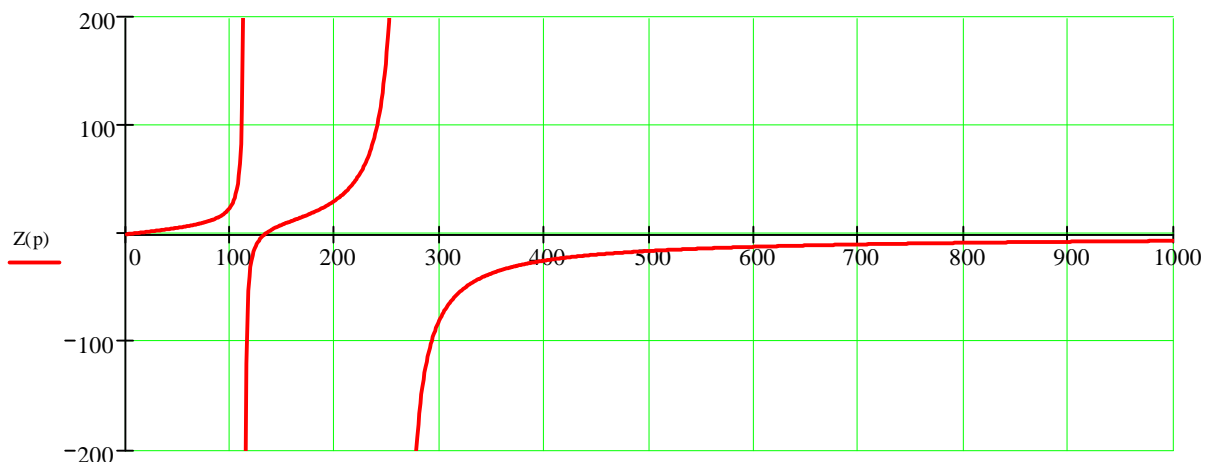
$$w_1 := Z(p) \left| \begin{array}{l} \text{solve, } p \\ \text{float, 3} \end{array} \right. \rightarrow \begin{pmatrix} 0 \\ 132. \\ -132. \end{pmatrix}$$

$$w_1 := \begin{pmatrix} w_{10} \\ w_{11} \end{pmatrix} \quad w_1 = \begin{pmatrix} 0 \\ 132 \end{pmatrix}$$

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

$$w := \frac{1}{Z(p)} \left| \begin{array}{l} \text{solve, } p \\ \text{float, 10} \end{array} \right. \rightarrow \begin{pmatrix} 263.6897825 \\ -263.6897825 \\ 113.1741941 \\ -113.1741941 \end{pmatrix}$$

$$w := \begin{pmatrix} w_0 \\ w_2 \end{pmatrix} \quad w = \begin{pmatrix} 263.69 \\ 113.174 \end{pmatrix}$$



2. ПРИ НАЯВНОСТІ МАГНІТНОГО ЗВ'ЯЗКУ МІЖ ІНДУКТИВНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ L1 T/ L2 (ОДНОЙМЕННІ ПОЧАТКИ ПОЗНАЧЕНІ НА СХЕМІ ТОЧКАМИ):

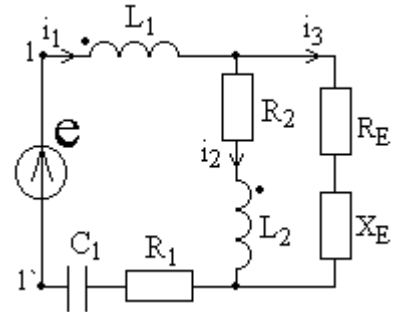
2.1. Перетворивши схему до двох незалежних контурів, розрахувати струми у всіх вітках схеми методом контурних струмів, визначити покази вольметра;

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

$$\begin{aligned} Z_3 &:= R_3 - X_{C2} \cdot i & Z_3 &= 9 - 10i \\ Z_4 &:= -X_{C3} \cdot i & Z_4 &= -8i \\ Z_5 &:= R_4 + X_{L3} \cdot i & Z_5 &= 12 + 25i \\ Z_{345} &:= \frac{Z_5 \cdot Z_4}{Z_5 + Z_4} + Z_3 & Z_{345} &= 10.774 - 20.513i \end{aligned}$$



$$R_E := \operatorname{Re}(Z_{345}) \quad R_E = 10.774 \quad X_E := \operatorname{Im}(Z_{345}) \quad X_E = -20.513$$

Знайдемо контурні та міжконтурні опори схеми:

$$\begin{aligned} Z_{11} &:= R_1 + R_2 + X_{L2} \cdot i + X_{L1} \cdot i - X_{C1} \cdot i + 2 \cdot X_M \cdot i & Z_{11} &= 12 + 100i \\ Z_{22} &:= R_E + X_E \cdot i + X_{L2} \cdot i + R_2 & Z_{22} &= 17.774 + 14.487i \\ Z_{12} &:= R_2 + X_{L2} \cdot i + X_M \cdot i & Z_{21} &:= Z_{12} & Z_{12} &= 7 + 55i \\ U &= 93.969 - 34.202i & F(U) &= (100 \quad -20) \end{aligned}$$

Given

$$\begin{aligned} I_1 \cdot (Z_{11}) - I_3 \cdot (Z_{12}) &= U \\ -I_1 \cdot (Z_{21}) + I_3 \cdot (Z_{22}) &= 0 \\ \begin{pmatrix} I_1 \\ I_3 \end{pmatrix} &:= \operatorname{Find}(I_1, I_3) & I_2 &:= I_1 - I_3 & I_1 &= 1.053 - 0.282i & F(I_1) &= (1.09 \quad -14.979) \\ & & I_2 &= -1.261 - 1.543i & I_2 &= -1.261 - 1.543i & F(I_2) &= (1.993 \quad -129.27) \\ & & I_3 &= 2.314 + 1.261i & I_3 &= 2.314 + 1.261i & F(I_3) &= (2.636 \quad 28.584) \\ I_4 &:= I_3 \cdot \frac{Z_5}{Z_4 + Z_5} & I_4 &= 2.762 + 2.17i & I_4 &= 2.762 + 2.17i & F(I_4) &= (3.513 \quad 38.161) \\ I_5 &:= I_3 - I_4 & I_5 &= -0.447 - 0.909i & I_5 &= -0.447 - 0.909i & F(I_5) &= (1.013 \quad -116.198) \end{aligned}$$

Баланс потужностей електричного кола :

$$\begin{aligned} S_r &:= U \cdot \overline{I_1} & S_r &= 108.589 - 9.54i \\ P_r &:= \operatorname{Re}(S_r) & P_r &= 108.589 & Q_r &:= \operatorname{Im}(S_r) & Q_r &= -9.54 \\ S_{M1} &:= \overline{I_1} \cdot I_2 \cdot X_M \cdot i & S_{M1} &= 39.601 - 17.873i & F(S_{M1}) &= (43.448 \quad -24.291) \\ S_{M2} &:= \overline{I_2} \cdot I_1 \cdot X_M \cdot i & S_{M2} &= -39.601 - 17.873i & F(S_{M2}) &= (43.448 \quad -155.709) \\ S_{KC} &:= (|I_1|)^2 \cdot (X_{L1} \cdot i + R_1 - X_{C1} \cdot i) + (|I_2|)^2 \cdot (R_2 + X_{L2} \cdot i) + (|I_3|)^2 \cdot (R_E + X_E \cdot i) + S_{M1} + S_{M2} \\ S_{KC} &= 108.589 - 9.54i \end{aligned}$$

Знаходимо покази вольметра:

$$\begin{aligned} V &:= \left| -I_2 \cdot (R_2 + X_M \cdot i) + I_3 \cdot (R_3 - X_M \cdot i) + I_5 \cdot (X_{L3} \cdot i) \right| & V &= 47.834 \\ V &:= \left| I_2 \cdot i \cdot (X_{L2}) - I_3 \cdot [-i \cdot (X_{C2})] - I_5 \cdot (R_4) \right| & V &= 47.834 \end{aligned}$$

Визначимо потужності взаємної індукції між контурами:

Визначимо потенціали всіх точок позначених на схемі:

$$\phi_a := 0$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$\phi_b = -4.226 - 15.796i$$

$$\phi_c = 1.039 - 17.204i$$

$$\phi_{d'} = 55.038 - 61.355i$$

$$\phi_d = 60.673 - 40.295i$$

$$\phi_e = 51.843 - 51.094i$$

$$\phi_{1'} = 63.113 - 8.973i$$

$$\phi_1 = 93.969 - 34.202i$$

$$\phi_A = -7.105i \times 10^{-15}$$

$$\phi_k = 13.65 - 40.349i$$

$$\phi_z = 31.012 - 62.444i$$

$$\phi_e = 51.843 - 51.094i$$

$$\phi_m = 8.281 - 51.26i$$

$$\phi_z = 31.012 - 62.444i$$

$$F(\phi_b) = (16.351 \quad -104.979)$$

$$F(\phi_c) = (17.236 \quad -86.544)$$

$$F(\phi_{d'}) = (82.424 \quad -48.107)$$

$$F(\phi_d) = (72.834 \quad -33.589)$$

$$F(\phi_e) = (72.789 \quad -44.583)$$

$$F(\phi_{1'}) = (63.747 \quad -8.092)$$

$$F(\phi_1) = (100 \quad -20)$$

$$F(\phi_A) = (7.105 \times 10^{-15} \quad -90)$$

$$F(\phi_k) = (42.596 \quad -71.31)$$

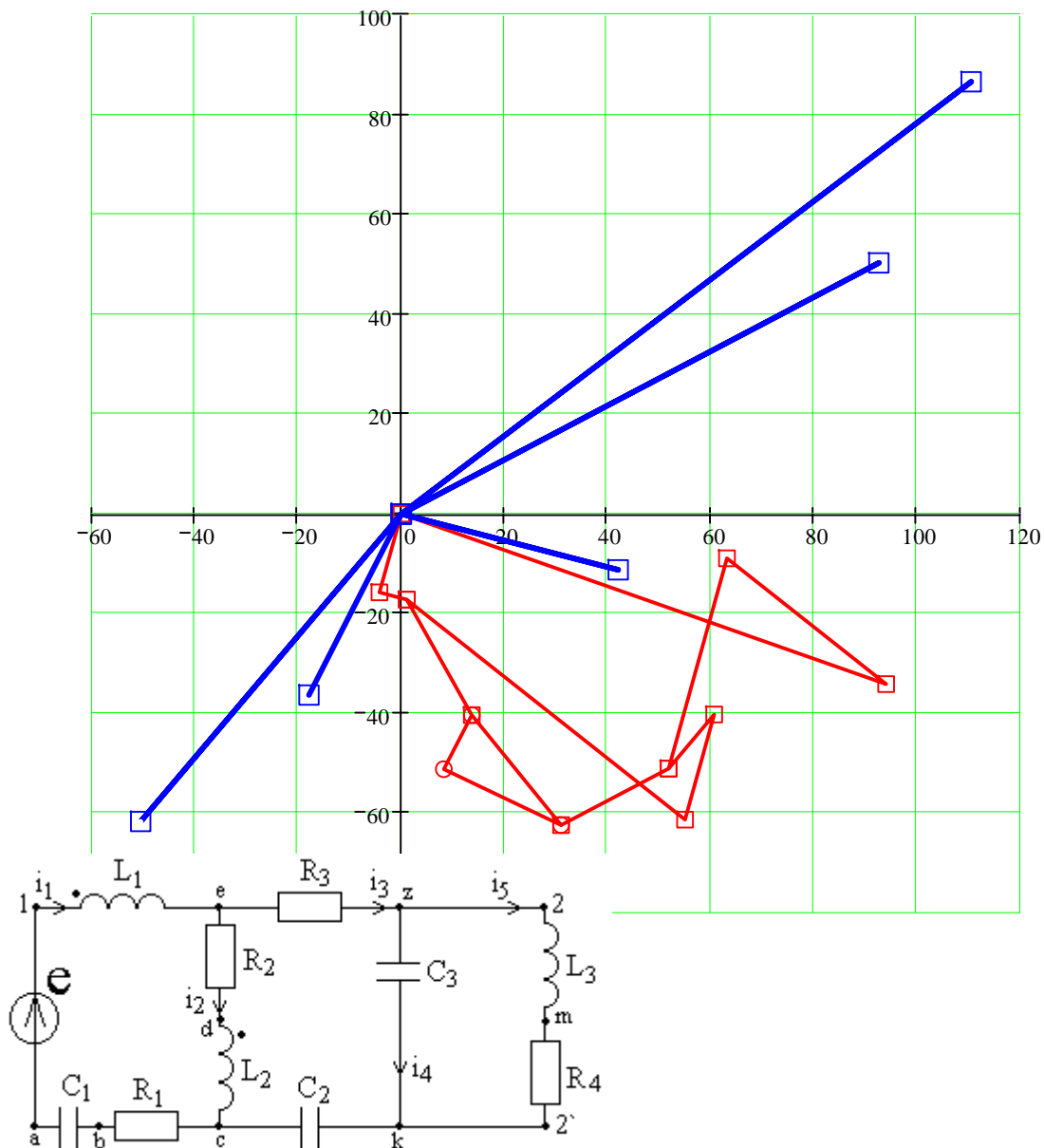
$$F(\phi_z) = (69.721 \quad -63.589)$$

$$F(\phi_e) = (72.789 \quad -44.583)$$

$$F(\phi_m) = (51.925 \quad -80.823)$$

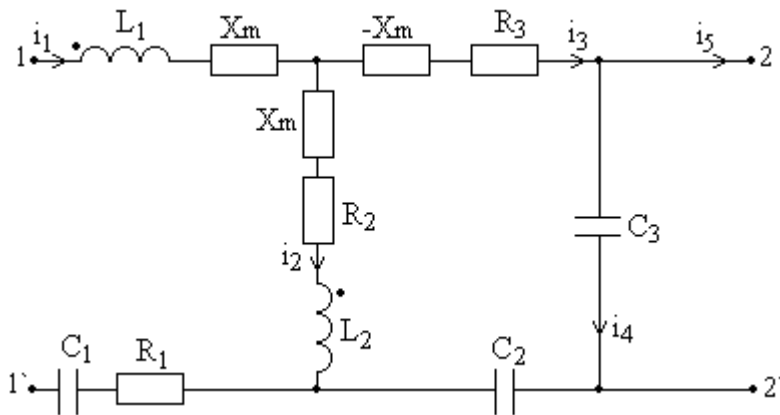
$$F(\phi_z) = (69.721 \quad -63.589)$$

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" :

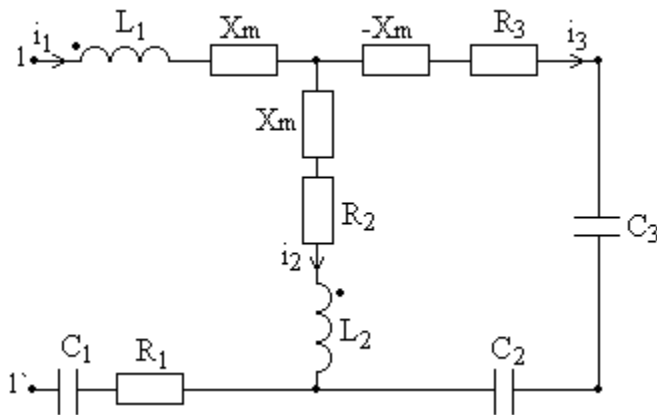
1) Розрахувати коефіцієнти чотириполосника **A, B, C, D**



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

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

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



$$Z_1 := R_1 + j \cdot (X_{L1} + X_M - X_{C1}) \quad Z_1 = 5 + 45i$$

$$Z_2 := R_2 + j \cdot (X_{L2} + X_M) \quad Z_2 = 7 + 55i$$

$$Z_3 := R_3 - j \cdot (X_M + X_{C3} + X_{C2}) \quad Z_3 = 9 - 38i$$

$$Z_{10} := \frac{Z_2 \cdot Z_3}{Z_2 + Z_3} + Z_1 \quad Z_{10} = 75.35 - 15.435i$$

$$Z_{20} := \frac{Z_1 \cdot Z_2}{Z_1 + Z_2} + Z_3 \quad Z_{20} = 11.93 - 13.248i$$

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

$$I_{10} = 1.286 - 0.19i$$

$$F(I_{10}) = (1.3 \quad -8.424)$$

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

$$I_{30} = 2.737 + 1.43i$$

$$F(I_{30}) = (3.088 \quad 27.587)$$

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

$$U_{20} = 11.44 - 21.894i$$

$$F(U_{20}) = (24.702 \quad -62.413)$$

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

$$A = 2.989 + 2.73i$$

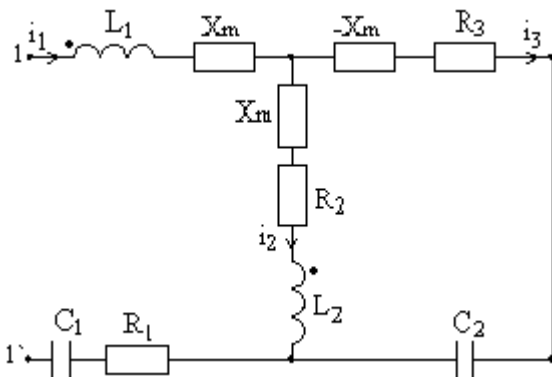
$$F(A) = (4.048 \quad 42.413)$$

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

$$C = 0.031 + 0.043i$$

$$F(C) = (0.053 \quad 53.989)$$

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



$$Z_1 = 5 + 45i$$

$$Z_2 := R_2 + j \cdot (X_{L2} + X_M) \quad Z_2 = 7 + 55i$$

$$Z_3 := R_3 - j \cdot (X_M + X_{C2}) \quad Z_3 = 9 - 30i$$

$$Z_K := \frac{Z_2 \cdot Z_3}{Z_2 + Z_3} + Z_1 \quad Z_K = 44.198 + 1.566i$$

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

$$I_{1K} = 2.096 - 0.848i$$

$$F(I_{1K}) = (2.261 \quad -22.03)$$

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

$$I_{2K} = 4.217 + 0.246i$$

$$F(I_{2K}) = (4.224 \quad 3.336)$$

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

$$B = 21.739 - 9.379i$$

$$F(B) = (23.676 \quad -23.336)$$

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

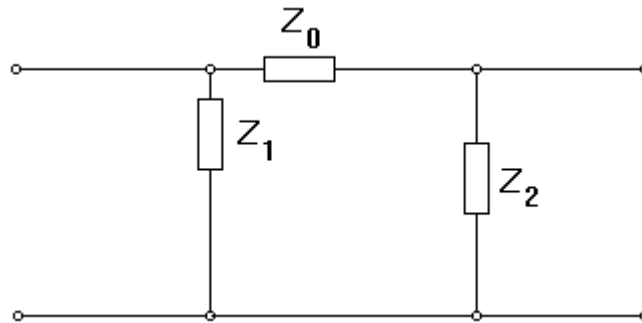
$$D = 0.484 - 0.229i$$

$$F(D) = (0.535 \quad -25.366)$$

Перевірка

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

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



$$Z_0 := B$$

$$Z_0 = 21.739 - 9.379i$$

$$F(Z_0) = (23.676 \quad -23.336)$$

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

$$Y_1 = -0.016 - 0.018i$$

$$F(Y_1) = (0.024 \quad -132.711)$$

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

$$Y_2 = 0.031 + 0.139i$$

$$F(Y_2) = (0.143 \quad 77.266)$$

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

$$R_0 = 21.739$$

$$X_{C0} := -\operatorname{Im}(Z_0)$$

$$X_{C0} = 9.379$$

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

$$Z_1 = -28.428 + 30.795i$$

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

$$R_1 = -28.428$$

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

$$X_{L1} = 30.795$$

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

$$Z_2 = 1.545 - 6.837i$$

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

$$R_2 = 1.545$$

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

$$X_{C2} = 6.837$$

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

$$L_1 = 0.098$$

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

$$C_2 = 4.656 \times 10^{-4}$$

$$C_0 := \frac{1}{\omega \cdot X_{C0}}$$

$$C_0 = 3.394 \times 10^{-4}$$