

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

Розрахунково-графічна робота
“Розрахунок однофазного кола синусоїдного струму”
Варіант № 138

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.

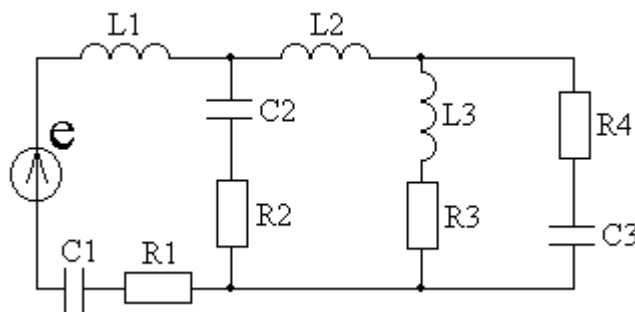
2. ПРИ НАЯВНОСТІ МАГНІТНОГО ЗВ'ЯЗКУ МІЖ ІНДУКТИВНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ L_1 ТА L_2 (ОДНОЙМЕННІ ПОЧАТКИ ПОЗНАЧЕНІ НА СХЕМІ ТОЧКАМИ):

- 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" :

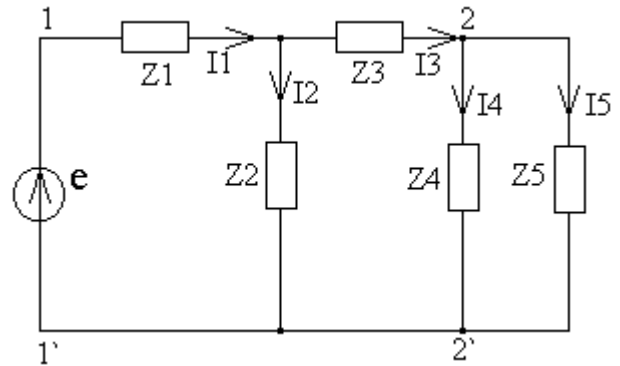
- 3.1. Розрахувати коефіцієнти А, В, С, D чотириполусника;
- 3.2. Розрахувати параметри R, L, C віток схеми заміщення.

$$\begin{aligned} E &:= 100 & \phi &:= -20 & R_1 &:= 5 & R_2 &:= 7 & R_3 &:= 9 & R_4 &:= 12 \\ X_{L1} &:= 40 & X_{L2} &:= 45 & X_{L3} &:= 50 & X_{C1} &:= 20 & X_{C2} &:= 25 & X_{C3} &:= 30 \\ X_M &:= 25 & f &:= 50 \end{aligned}$$



Символічний метод

$$\begin{aligned} Z_1 &:= R_1 + X_{L1} \cdot i - X_{C1} \cdot i & Z_1 &= 5 + 20i \\ Z_2 &:= R_2 - X_{C2} \cdot i & Z_2 &= 7 - 25i \\ Z_3 &:= X_{L2} \cdot i & Z_3 &= 45i \\ Z_4 &:= R_3 + X_{L3} \cdot i & Z_4 &= 9 + 50i \\ Z_5 &:= R_4 - X_{C3} \cdot i & Z_5 &= 12 - 30i \end{aligned}$$



$$Z_{345} := \frac{Z_5 \cdot Z_4}{Z_5 + Z_4} + Z_3 \quad Z_{345} = 48 + 15i$$

$$Z_E := \frac{Z_2 \cdot Z_{345}}{Z_2 + Z_{345}} + Z_1 \quad Z_E = 21.018 + 3.003i$$

$$E_C = 93.969 - 34.202i$$

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

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

$$I_1 = 4.154 - 2.221i$$

$$F(I_1) = (4.71 \quad -28.132)$$

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

$$I_2 = 4.237 - 0.035i$$

$$F(I_2) = (4.237 \quad -0.473)$$

$$I_3 := I_1 - I_2$$

$$I_3 = -0.083 - 2.186i$$

$$F(I_3) = (2.187 \quad -92.185)$$

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

$$I_4 = -2.227 + 0.991i$$

$$F(I_4) = (2.437 \quad 156.014)$$

$$I_5 := I_3 - I_4$$

$$I_5 = 2.143 - 3.177i$$

$$F(I_5) = (3.832 \quad -55.992)$$

Баланс потужностей електричного кола :

$$S_r := E_C \cdot \overline{I_1}$$

$$S_r = 466.272 + 66.625i$$

$$P := (|I_1|)^2 \cdot R_1 + (|I_2|)^2 \cdot R_2 + (|I_4|)^2 \cdot R_3 + (|I_5|)^2 \cdot R_4$$

$$P = 466.272$$

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

$$Q = 66.625i$$

Визначимо потенціали всіх точок позначених на схемі:

$$\phi_{1'} := 0$$

$$\phi_a := \phi_{1'} + I_1 \cdot (-X_{C1} \cdot i)$$

$$\phi_a = -44.416 - 83.073i$$

$$F(\phi_a) = (94.202 \quad -118.132)$$

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

$$\phi_b = -23.648 - 94.177i$$

$$F(\phi_b) = (97.101 \quad -104.096)$$

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

$$\phi_c = 6.011 - 94.422i$$

$$F(\phi_c) = (94.613 \quad -86.357)$$

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

$$\phi_d = 5.137 - 200.348i$$

$$F(\phi_d) = (200.414 \quad -88.531)$$

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

$$\phi_1 = 93.969 - 34.202i$$

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

$$\phi_A := \phi_1 - E_C$$

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

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

$$\phi_k := \phi_b + I_4 \cdot R_3$$

$$\phi_k = -43.688 - 85.26i$$

$$F(\phi_k) = (95.802 \quad -117.131)$$

$$\phi_z := \phi_k + I_4 \cdot X_{L3} \cdot i$$

$$\phi_z = -93.226 - 196.595i$$

$$F(\phi_z) = (217.579 \quad -115.37)$$

$$\phi_d := \phi_z + I_3 \cdot X_{L2} \cdot i$$

$$\phi_d = 5.137 - 200.348i$$

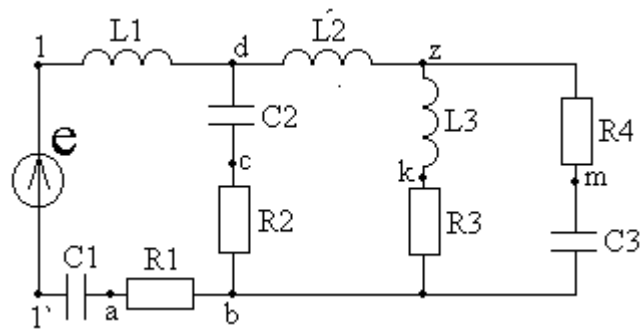
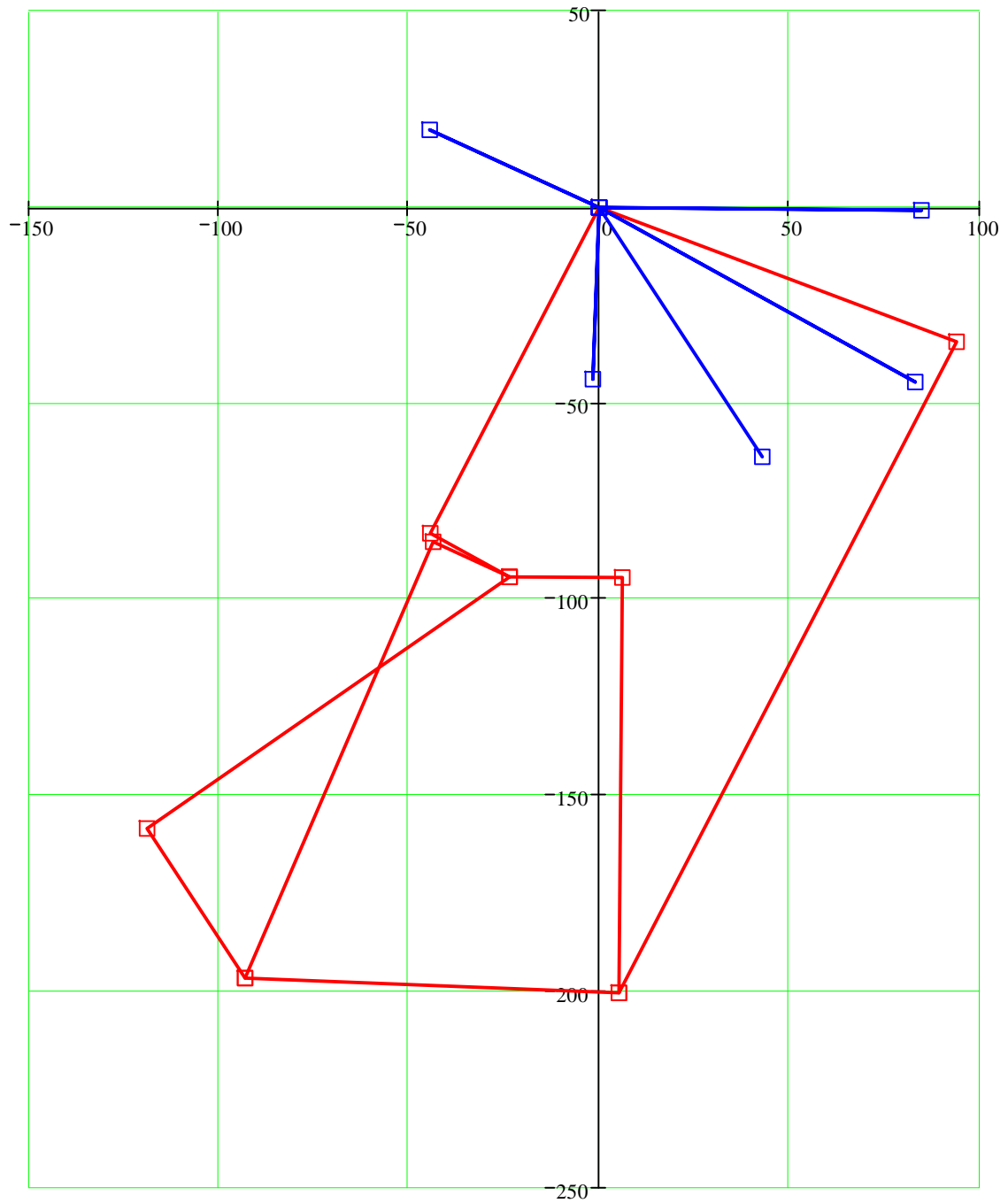
$$F(\phi_d) = (200.414 \quad -88.531)$$

$$\phi_m := \phi_b + I_5 \cdot (-X_{C3} \cdot i)$$

$$\phi_m = -118.946 - 158.476i$$

$$F(\phi_m) = (198.148 \quad -126.89)$$

Суміщена векторна діаграма струмів і топографічна діаграма напруг:



1.5. Приймаючи активний опір R2 за нульовий і вважаючи реактивний опір цієї вітки невідомий, розрахувати його за умови резонансу струмів.

$$\begin{aligned} Z_3 &:= X_{L2} \cdot i & Z_3 &= 45i \\ Z_4 &:= R_3 + X_{L3} \cdot i & Z_4 &= 9 + 50i \\ Z_5 &:= R_4 - X_{C3} \cdot i & Z_5 &= 12 - 30i \end{aligned}$$

$$Z_E := \frac{Z_5 \cdot Z_4}{Z_5 + Z_4} + Z_3 \quad Z_E = 48 + 15i$$

$$R_E := \operatorname{Re}(Z_E) \quad R_E = 48 \quad X_E := \operatorname{Im}(Z_E) \quad X_E = 15$$

Умова резонансу струмів на ділянці "ab" : $B_{ab} = B_2 + B_E \quad B_{ab} := 0 \quad B_2 = -B_E$

$$B_2 := \frac{-X_E}{X_E^2 + R_E^2} \quad B_2 = -5.931 \times 10^{-3} \quad X_2 := \frac{1}{B_2} \quad X_2 = -168.6$$

Розрахувати струми для резонансного стану кола

$$\begin{aligned} Z_1 &:= R_1 + X_{L1} \cdot i - X_{C1} \cdot i & Z_1 &= 5 + 20i \\ Z_3 &:= X_{L2} \cdot i & Z_3 &= 45i \\ Z_4 &:= R_3 + X_{L3} \cdot i & Z_4 &= 9 + 50i \\ Z_5 &:= R_4 - X_{C3} \cdot i & Z_5 &= 12 - 30i \end{aligned}$$

$$Z_{345} := \frac{Z_5 \cdot Z_4}{Z_5 + Z_4} + Z_3 \quad Z_{345} = 48 + 15i$$

Вхідний опір кола:

$$Z_{VX}(X_N) := \frac{Z_{345} \cdot i \cdot X_N}{Z_{345} + i \cdot X_N} + Z_1 \rightarrow (-15 + 48 \cdot i) \cdot \frac{X_N}{(48 + 15 \cdot i + i \cdot X_N)} + 5 + 20 \cdot i$$

$$Z_{VX}(X_N) \left| \begin{array}{l} \text{complex} \\ \text{simplify} \end{array} \right. \rightarrow \frac{(150 \cdot X_N + 53 \cdot X_N^2 + 12645 + 3129 \cdot i \cdot X_N + 35 \cdot i \cdot X_N^2 + 50580 \cdot i)}{(2529 + 30 \cdot X_N + X_N^2)}$$

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

$$X_{VX}(X_N) := \operatorname{Im}(Z_{VX}(X_N)) \left| \begin{array}{l} \text{complex} \\ \text{simplify} \end{array} \right. \rightarrow \frac{(3129 \cdot X_N + 35 \cdot X_N^2 + 50580)}{(2529 + 30 \cdot X_N + X_N^2)}$$

$$X_N := X_{VX}(X_N) \left| \begin{array}{l} \text{solve}, X_N \\ \text{float}, 30 \end{array} \right. \rightarrow \begin{pmatrix} -21.1851718514222848011578122292 \\ -68.2148281485777151988421877708 \end{pmatrix}$$

Отже резонанс кола може бути при реактивному опорі у другій вітці $X_N = \begin{pmatrix} -21.185 \\ -68.215 \end{pmatrix}$ який носить ємнісний характер ($X_{N0} = -21.185$), ($X_{N1} = -68.215$)

$$X_n := X_{N0} \quad X_n = -21.185 \quad Z_{VX}(X_n) = 14.198$$

$$I_1 := \frac{E_C}{Z_{VX}(X_n)} \quad I_1 = 6.619 - 2.409i \quad F(I_1) = (7.043 \quad -20)$$

$$I_2 := I_1 \cdot \frac{Z_{345}}{Z_{345} + i \cdot X_n} \quad I_2 = 7.294 + 0.599i \quad F(I_2) = (7.319 \quad 4.697)$$

$$I_3 := I_1 - I_2 \quad I_3 = -0.676 - 3.008i \quad F(I_3) = (3.083 \quad -102.657)$$

$$I_4 := I_3 \cdot \frac{Z_5}{Z_4 + Z_5} \quad I_4 = -2.832 + 1.944i \quad F(I_4) = (3.435 \quad 145.541)$$

$$I_5 := I_3 - I_4$$

$$I_5 = 2.157 - 4.952i$$

$$F(I_5) = (5.401 \quad -66.464)$$

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

$$S_1 = 704.348$$

$$P := (|I_1|)^2 \cdot R_1 + (|I_4|)^2 \cdot R_3 + (|I_5|)^2 \cdot R_4 \quad P = 704.348$$

$$Q := (|I_1|)^2 \cdot (X_{L1} - X_{C1}) + (|I_2|)^2 \cdot X_n + (|I_3|)^2 \cdot (X_{L2}) + (|I_4|)^2 \cdot X_{L3} + (|I_5|)^2 \cdot (-X_{C3}) \quad Q = 2.274 \times 10^{-13}$$

$$\text{При } X_n := X_{N_1} \quad X_n = -68.215 \quad Z_{VX}(X_n) = 48.49$$

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

$$I_1 = 1.938 - 0.705i$$

$$F(I_1) = (2.062 \quad -20)$$

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

$$I_2 = 1.018 + 1.029i$$

$$F(I_2) = (1.447 \quad 45.303)$$

$$I_3 := I_1 - I_2$$

$$I_3 = 0.92 - 1.734i$$

$$F(I_3) = (1.963 \quad -62.051)$$

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

$$I_4 = -2.175 - 0.234i$$

$$F(I_4) = (2.187 \quad -173.852)$$

$$I_5 := I_3 - I_4$$

$$I_5 = 3.095 - 1.5i$$

$$F(I_5) = (3.439 \quad -25.857)$$

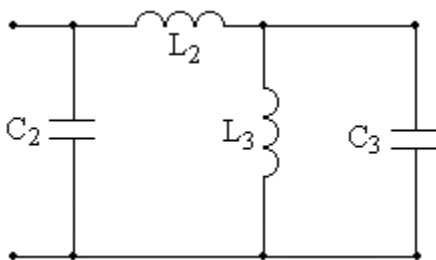
$$S_1 := E_C \cdot \overline{I_1}$$

$$S_1 = 206.228$$

$$P := (|I_1|)^2 \cdot R_1 + (|I_4|)^2 \cdot R_3 + (|I_5|)^2 \cdot R_4 \quad P = 206.228$$

$$Q := (|I_1|)^2 \cdot (X_{L1} - X_{C1}) + (|I_2|)^2 \cdot X_n + (|I_3|)^2 \cdot (X_{L2}) + (|I_4|)^2 \cdot X_{L3} + (|I_5|)^2 \cdot (-X_{C3}) \quad Q = -1.137 \times 10^{-13}$$

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



$$L_2 := \frac{X_{L2}}{\omega} \rightarrow \frac{9}{20 \cdot \pi}$$

$$L_2 = 0.143$$

$$L_3 := \frac{X_{L3}}{\omega} \rightarrow \frac{1}{2 \cdot \pi}$$

$$L_3 = 0.159$$

$$C_2 := \frac{1}{\omega \cdot X_{C2}} \rightarrow \frac{1}{2500 \cdot \pi}$$

$$C_2 = 1.273 \times 10^{-4}$$

$$C_3 := \frac{1}{\omega \cdot X_{C3}} \rightarrow \frac{1}{3000 \cdot \pi}$$

$$C_3 = 1.061 \times 10^{-4}$$

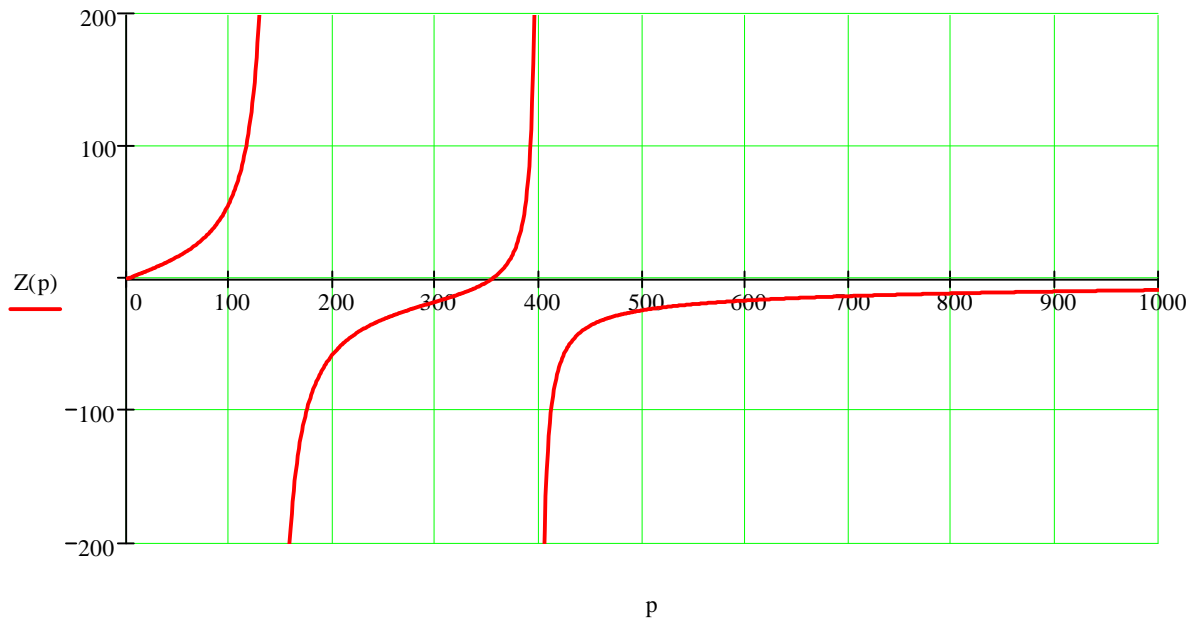
$$Z(p) := \frac{\left(\frac{p \cdot L_3 \cdot \frac{-1}{p \cdot C_3}}{p \cdot L_3 - \frac{1}{p \cdot C_3}} + p \cdot L_2 \right) \cdot \frac{-1}{p \cdot C_2}}{\frac{-1}{p \cdot C_2} + \frac{p \cdot L_3 \cdot \frac{-1}{p \cdot C_3}}{p \cdot L_3 - \frac{1}{p \cdot C_3}} + p \cdot L_2}$$

Знаходимо нулі: $Z(p) = 0$

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

$$w_1 := Z(p) \left| \begin{array}{l} \text{solve, p} \\ \text{float, 3} \end{array} \right. \rightarrow \begin{pmatrix} 355. \\ -355. \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$w := \frac{1}{Z(p)} \left| \begin{array}{l} \text{solve, p} \\ \text{float, 10} \end{array} \right. \rightarrow \begin{pmatrix} 399.3586493 \\ -399.3586493 \\ 142.6842457 \\ -142.6842457 \end{pmatrix}$$



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

2.1. Розрахувати струми віток методом контурних струмів, попередньо спростивши схему до двох незалежних контурів.

2.2. Побудувати суміщену векторну діаграму струмів і топографічну діаграму напруг.

2.3. Скласти баланс активних і реактивних потужностей кола.

2.4. Розрахувати активну потужність, що передається магнітним потоком взаємодукції.

Спростимо схему до двох незалежних контурів

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

$$Z_4 = 9 + 50i$$

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

$$Z_5 = 12 - 30i$$

$$Z_{45} := \frac{Z_5 \cdot Z_4}{Z_5 + Z_4}$$

$$Z_{45} = 48 - 30i$$

$$Z_{345} := Z_{45}$$

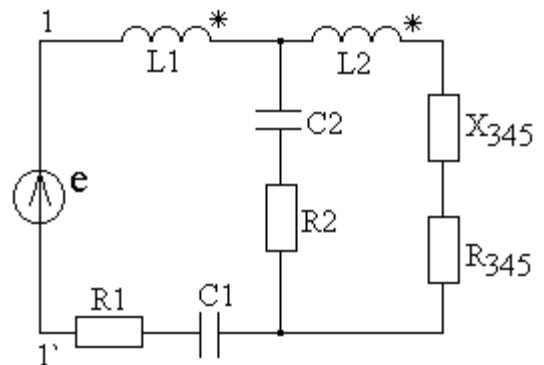
$$Z_{345} = 48 - 30i$$

$$R_{345} := \operatorname{Re}(Z_{345})$$

$$R_{345} = 48$$

$$X_{345} := \operatorname{Im}(Z_{345})$$

$$X_{345} = -30$$



$$Z_{11} := R_1 + R_2 - X_{C2} \cdot i + X_{L1} \cdot i - X_{C1} \cdot i$$

$$Z_{11} = 12 - 5i$$

$$Z_{22} := R_{345} + X_{345} \cdot i - X_{C2} \cdot i + R_2 + X_{L2} \cdot i$$

$$Z_{22} = 55 - 10i$$

$$Z_{12} := R_2 - X_{C2} \cdot i - X_M \cdot i$$

$$Z_{21} := Z_{12}$$

$$Z_{12} = 7 - 50i$$

$$U = 93.969 - 34.202i$$

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

Given

$$I_1 \cdot (Z_{11}) - I_3 \cdot (Z_{12}) = U$$

$$-I_1 \cdot (Z_{21}) + I_3 \cdot (Z_{22}) = 0$$

$$\begin{pmatrix} I_1 \\ I_3 \end{pmatrix} := \text{Find}(I_1, I_3) \quad I_2 := I_1 - I_3 \quad \begin{array}{l} I_1 = 1.47 - 1.068i \\ I_2 = 1.97 + 0.495i \\ I_3 = -0.5 - 1.563i \end{array} \quad \begin{array}{l} F(I_1) = (1.817 \quad -35.995) \\ F(I_2) = (2.031 \quad 14.115) \\ F(I_3) = (1.641 \quad -107.721) \end{array}$$

Баланс потужностей електричного кола :

$$\begin{array}{llll} S_r := U \cdot \overline{I_1} & S_r = 174.69 + 50.075i & & \\ P_r := \text{Re}(S_r) & P_r = 174.69 & Q_r := \text{Im}(S_r) & Q_r = 50.075 \\ S_{M1} := \overline{I_1} \cdot I_3 \cdot X_M \cdot i & S_{M1} = 70.804 + 23.381i & F(S_{M1}) = (74.565 \quad 18.274) & \\ S_{M2} := \overline{I_3} \cdot I_1 \cdot X_M \cdot i & S_{M2} = -70.804 + 23.381i & F(S_{M2}) = (74.565 \quad 161.726) & \\ S_{KC} := (|I_1|)^2 \cdot (X_{L1} \cdot i + R_1 - X_{C1} \cdot i) + (|I_2|)^2 \cdot (R_2 - X_{C2} \cdot i) + (|I_3|)^2 \cdot (R_{345} + X_{345} \cdot i + X_{L2} \cdot i) & & & \\ S_{KC} + (S_{M1} + S_{M2}) = 174.69 + 50.075i & & & \end{array}$$

Активна потужність взаємодії 1-ї катушки:

$$P_{M1} := \text{Re}(S_{M1}) \quad P_{M1} = 70.804$$

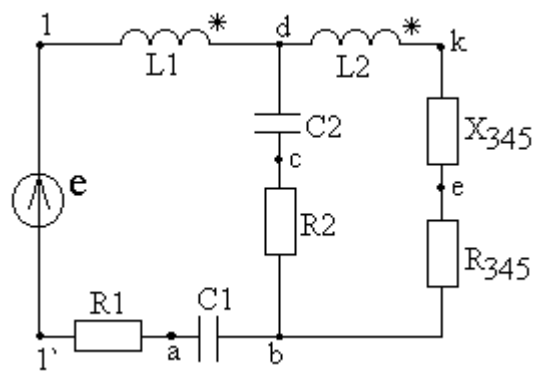
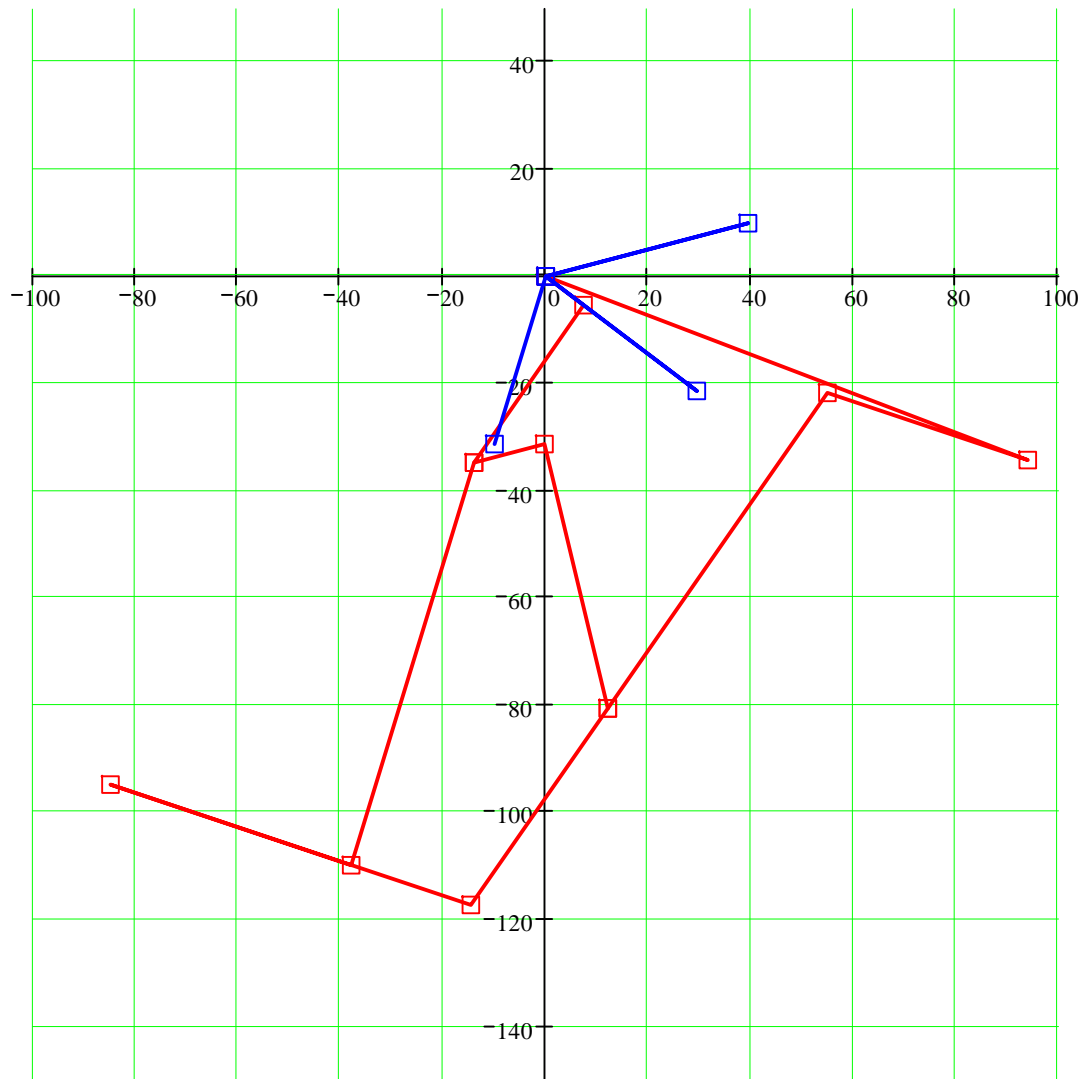
Активна потужність взаємодії 2-ї катушки:

$$P_{M2} := \text{Re}(S_{M2}) \quad P_{M2} = -70.804$$

Визначимо потенціали всіх точок позначених на схемі:

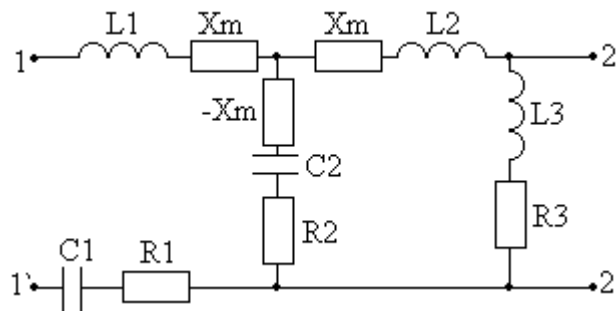
$$\begin{array}{llll} \phi_{1'} := 0 & & & \\ \phi_a := \phi_{1'} + I_1 \cdot R_1 & \phi_a = 7.351 - 5.34i & F(\phi_a) = (9.086 \quad -35.995) & \\ \phi_b := \phi_a + I_1 \cdot (-X_{C1} \cdot i) & \phi_b = -14.009 - 34.746i & F(\phi_b) = (37.464 \quad -111.959) & \\ \phi_c := \phi_b + I_2 \cdot R_2 & \phi_c = -0.22 - 31.278i & F(\phi_c) = (31.279 \quad -90.404) & \\ \phi_d := \phi_c + I_2 \cdot (-X_{C2} \cdot i) & \phi_d = 12.164 - 80.524i & F(\phi_d) = (81.438 \quad -81.41) & \\ \phi_1 := \phi_d + I_1 \cdot X_{L1} \cdot i & \phi_1 = 54.885 - 21.713i & F(\phi_1) = (59.024 \quad -21.584) & \\ \phi_{1'} := \phi_1 + I_3 \cdot X_M \cdot i & \phi_{1'} = 93.969 - 34.202i & F(\phi_{1'}) = (100 \quad -20) & \\ \phi_A := \phi_{1'} - E_C & \phi_A = -1.421 \times 10^{-14} + 7.105i \times 10^{-15} & & \\ \phi_e := \phi_b + I_3 \cdot R_{345} & \phi_e = -37.988 - 109.788i & F(\phi_e) = (116.175 \quad -109.086) & \\ \phi_k := \phi_e + I_3 \cdot X_{345} \cdot i & \phi_k = -84.889 - 94.801i & F(\phi_k) = (127.254 \quad -131.843) & \\ \phi_{d'} := \phi_k + I_3 \cdot X_{L2} \cdot i & \phi_{d'} = -14.537 - 117.282i & F(\phi_{d'}) = (118.179 \quad -97.066) & \\ \phi_d := \phi_{d'} + I_1 \cdot X_M \cdot i & \phi_d = 12.164 - 80.524i & F(\phi_d) = (81.438 \quad -81.41) & \end{array}$$

Суміщена векторна діаграма струмів і топографічна діаграма напруг:



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**



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

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

Неробочій хід:

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

$$Z_1 := R_1 + X_{L1} \cdot i - X_{C1} \cdot i + X_M \cdot i \rightarrow 5 + 45 \cdot i$$

$$Z_2 := R_2 - X_{C2} \cdot i - X_M \cdot i \rightarrow 7 - 50 \cdot i$$

$$Z_3 := R_3 + X_{L2} \cdot i + X_{L3} \cdot i + X_M \cdot i \rightarrow 9 + 120 \cdot i$$

$$Z_{10} := \frac{Z_2 \cdot Z_3}{Z_2 + Z_3} + Z_1 \quad Z_{10} = 29.109 - 36.104i \quad Z_{20} := \frac{Z_1 \cdot Z_2}{Z_1 + Z_2} + Z_3 \quad Z_{20} = 169.325 + 192.219i$$

$$I_{10} := \frac{U_{10}}{Z_{10}} \quad I_{10} = 1.846 + 1.114i \quad F(I_{10}) = (2.156 \quad 31.122)$$

$$I_{30} := I_{10} \cdot \frac{Z_2}{Z_2 + Z_3} \quad I_{30} = -0.934 - 1.194i \quad F(I_{30}) = (1.516 \quad -128.034)$$

$$U_{20} := I_{30} \cdot (R_3 + i \cdot X_{L3}) \quad U_{20} = 51.3 - 57.453i \quad F(U_{20}) = (77.023 \quad -48.238)$$

$$A := \frac{U_{10}}{U_{20}} \quad A = 1.144 + 0.614i \quad F(A) = (1.298 \quad 28.238)$$

$$C := \frac{I_{10}}{U_{20}} \quad C = 5.169 \times 10^{-3} + 0.028i \quad F(C) = (0.028 \quad 79.359)$$

Коротке замикання:

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

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

$$Z_2 := R_2 + i \cdot (-X_{C2} - X_M) \rightarrow 7 - 50 \cdot i$$

$$Z_3 := i \cdot (X_{L2} + X_M) \rightarrow 70 \cdot i$$

$$Z_K := \frac{Z_2 \cdot Z_3}{Z_2 + Z_3} + Z_1 \quad Z_K = 81.392 - 103.263i$$

$$I_{1K} := \frac{U_K}{Z_K} \quad I_{1K} = 0.647 + 0.4i \quad F(I_{1K}) = (0.761 \quad 31.755)$$

$$I_{3K} := I_{1K} \cdot \frac{Z_2}{Z_2 + Z_3} \quad I_{3K} = -0.933 - 1.554i \quad F(I_{3K}) = (1.812 \quad -120.986)$$

$$B := \frac{U_K}{I_{3K}} \quad B = -10.516 + 54.172i \quad F(B) = (55.183 \quad 100.986)$$

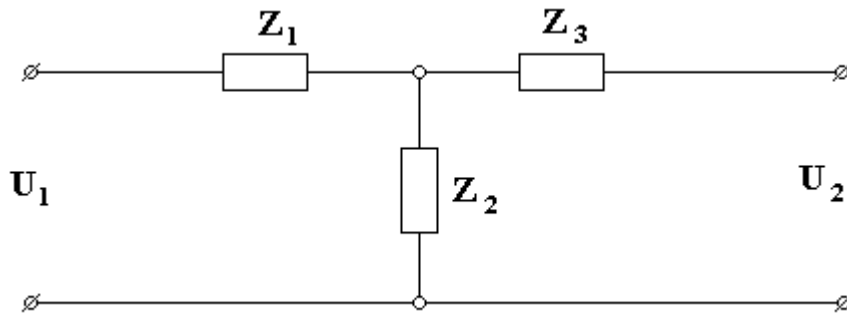
$$D := \frac{I_{1K}}{I_{3K}} \quad D = -0.373 + 0.192i \quad F(D) = (0.42 \quad 152.74)$$

Перевірка $A \cdot D - B \cdot C = 1$

$F(A) = (1.298 \ 28.238)$ $F(B) = (55.183 \ 100.986)$

$F(C) = (0.028 \ 79.359)$ $F(D) = (0.42 \ 152.74)$

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



$$Z_1 = 5 + 45i$$

$$F(Z_1) = (45.277 \ 83.66)$$

$$Z_2 = 7 - 50i$$

$$F(Z_2) = (50.488 \ -82.03)$$

$$Z_3 = 70i$$

$$F(Z_3) = (70 \ 90)$$

$$R_1 := \operatorname{Re}(Z_1) \quad R_1 = 5$$

$$X_1 := \operatorname{Im}(Z_1) \quad X_1 = 45$$

$$R_2 := \operatorname{Re}(Z_2) \quad R_2 = 7$$

$$X_2 := \operatorname{Im}(Z_2) \quad X_2 = -50$$

$$R_3 := \operatorname{Re}(Z_3) \quad R_3 = 0$$

$$X_3 := \operatorname{Im}(Z_3) \quad X_3 = 70$$

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

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

$$L_2 := \frac{X_3}{2 \cdot \pi \cdot f}$$

$$L_1 = 0.143$$

$$C = 6.366 \times 10^{-5}$$

$$L_2 = 0.223$$