

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

Розрахунково-графічна робота
“Розрахунок однофазного кола синусоїдного струму”
Варіант № 458

Виконав: _____

Перевірив: _____

Київ 2006

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.

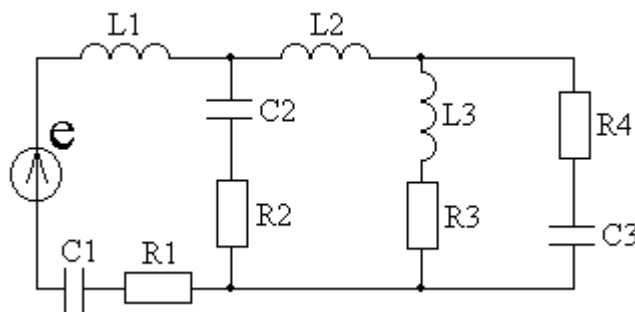
2. ПРИ НАЯВНОСТІ МАГНІТНОГО ЗВ'ЯЗКУ МІЖ ІНДУКТИВНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ L_1 ТА L_2 (ОДНОЙМЕННІ ПОЧАТКИ ПОЗНАЧЕНІ НА СХЕМІ ТОЧКАМИ):

- 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" :

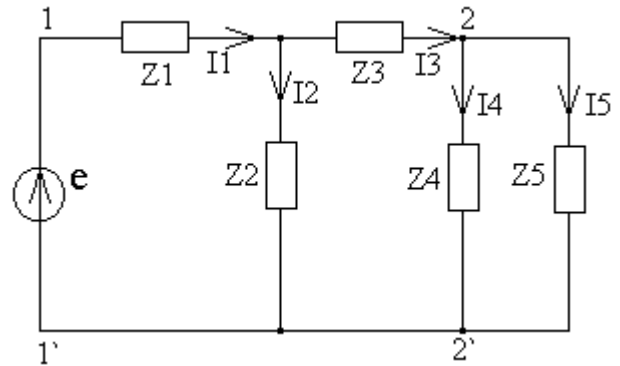
- 3.1. Розрахувати коефіцієнти А, В, С, D чотириполосника;
- 3.2. Розрахувати параметри R, L, C віток схеми заміщення.

$$\begin{aligned} E &:= 160 & \phi &:= -60 & R_1 &:= 11 & R_2 &:= 13 & R_3 &:= 15 & R_4 &:= 17 \\ X_{L1} &:= 50 & X_{L2} &:= 40 & X_{L3} &:= 35 & X_{C1} &:= 20 & X_{C2} &:= 15 & X_{C3} &:= 12 \\ X_M &:= 30 & f &:= 100 \end{aligned}$$



Символічний метод

$$\begin{aligned} Z_1 &:= R_1 + X_{L1} \cdot i - X_{C1} \cdot i & Z_1 &= 11 + 30i \\ Z_2 &:= R_2 - X_{C2} \cdot i & Z_2 &= 13 - 15i \\ Z_3 &:= X_{L2} \cdot i & Z_3 &= 40i \\ Z_4 &:= R_3 + X_{L3} \cdot i & Z_4 &= 15 + 35i \\ Z_5 &:= R_4 - X_{C3} \cdot i & Z_5 &= 17 - 12i \end{aligned}$$



$$Z_{345} := \frac{Z_5 \cdot Z_4}{Z_5 + Z_4} + Z_3 \quad Z_{345} = 20.055 + 38.554i$$

$$Z_E := \frac{Z_2 \cdot Z_{345}}{Z_2 + Z_{345}} + Z_1 \quad Z_E = 30.7 + 22.024i$$

$$E_C = 80 - 138.564i \quad F(E_C) = (160 \quad -60)$$

$$I_1 := \frac{E_C}{Z_E} \quad I_1 = -0.417 - 4.214i \quad F(I_1) = (4.235 \quad -95.656)$$

$$I_2 := I_1 \cdot \frac{Z_{345}}{Z_{345} + Z_2} \quad I_2 = 1.654 - 4.222i \quad F(I_2) = (4.534 \quad -68.611)$$

$$I_3 := I_1 - I_2 \quad I_3 = -2.071 + 7.775i \times 10^{-3} \quad F(I_3) = (2.071 \quad 179.785)$$

$$I_4 := I_3 \cdot \frac{Z_5}{Z_4 + Z_5} \quad I_4 = -0.353 + 1.035i \quad F(I_4) = (1.094 \quad 108.861)$$

$$I_5 := I_3 - I_4 \quad I_5 = -1.717 - 1.027i \quad F(I_5) = (2.001 \quad -149.12)$$

Баланс потужностей електричного кола :

$$S_r := E_C \cdot \overline{I_1} \quad S_r = 550.533 + 394.961i$$

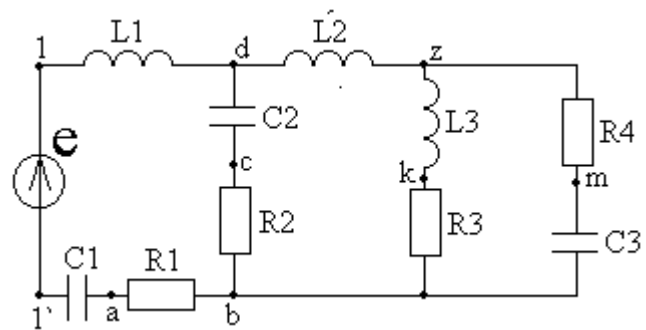
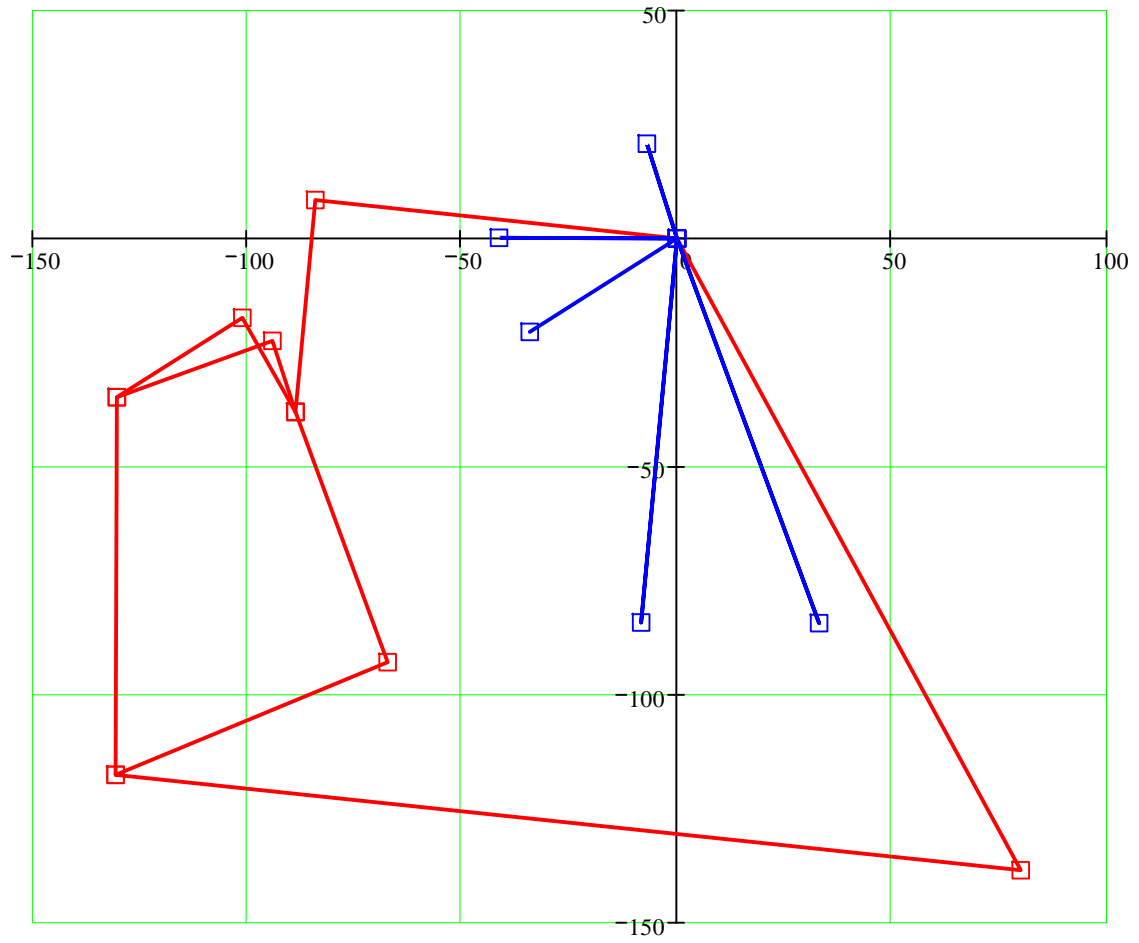
$$P := (|I_1|)^2 \cdot R_1 + (|I_2|)^2 \cdot R_2 + (|I_4|)^2 \cdot R_3 + (|I_5|)^2 \cdot R_4 \quad P = 550.533$$

$$Q := (|I_1|)^2 \cdot (X_{L1} \cdot i - X_{C1} \cdot i) + (|I_2|)^2 \cdot (-X_{C2} \cdot i) + (|I_3|)^2 \cdot X_{L2} \cdot i + (|I_4|)^2 \cdot X_{L3} \cdot i + (|I_5|)^2 \cdot (-X_{C3} \cdot i) \\ Q = 394.961i$$

Визначимо потенціали всіх точок позначених на схемі:

$$\begin{aligned} \phi_{1'} &:= 0 \\ \phi_a &:= \phi_{1'} + I_1 \cdot (-X_{C1} \cdot i) & \phi_a &= -84.282 + 8.347i & F(\phi_a) &= (84.694 \quad 174.344) \\ \phi_b &:= \phi_a + I_1 \cdot R_1 & \phi_b &= -88.873 - 38.008i & F(\phi_b) &= (96.659 \quad -156.845) \\ \phi_c &:= \phi_b + I_2 \cdot R_2 & \phi_c &= -67.377 - 92.892i & F(\phi_c) &= (114.754 \quad -125.954) \\ \phi_d &:= \phi_c + I_2 \cdot (-X_{C2} \cdot i) & \phi_d &= -130.705 - 117.695i & F(\phi_d) &= (175.886 \quad -137.998) \\ \phi_1 &:= \phi_d + I_1 \cdot X_{L1} \cdot i & \phi_1 &= 80 - 138.564i & F(\phi_1) &= (160 \quad -60) \\ \phi_A &:= \phi_1 - E_C & \phi_A &= -1.421 \times 10^{-14} & F(\phi_A) &= (1.421 \times 10^{-14} \quad 180) \\ \phi_k &:= \phi_b + I_4 \cdot R_3 & \phi_k &= -94.176 - 22.485i & F(\phi_k) &= (96.823 \quad -166.571) \\ \phi_z &:= \phi_k + I_4 \cdot X_{L3} \cdot i & \phi_z &= -130.394 - 34.858i & F(\phi_z) &= (134.973 \quad -165.033) \\ \phi_d &:= \phi_z + I_3 \cdot X_{L2} \cdot i & \phi_d &= -130.705 - 117.695i & F(\phi_d) &= (175.886 \quad -137.998) \\ \phi_m &:= \phi_b + I_5 \cdot (-X_{C3} \cdot i) & \phi_m &= -101.197 - 17.398i & F(\phi_m) &= (102.682 \quad -170.245) \end{aligned}$$

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.

$$\begin{aligned} Z_3 &:= X_{L2} \cdot i & Z_3 &= 40i \\ Z_4 &:= R_3 + X_{L3} \cdot i & Z_4 &= 15 + 35i \\ Z_5 &:= R_4 - X_{C3} \cdot i & Z_5 &= 17 - 12i \\ Z_E &:= \frac{Z_5 \cdot Z_4}{Z_5 + Z_4} + Z_3 & Z_E &= 20.055 + 38.554i \end{aligned}$$

$$R_E := \operatorname{Re}(Z_E) \quad R_E = 20.055 \quad X_E := \operatorname{Im}(Z_E) \quad X_E = 38.554$$

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

$$B_2 := \frac{-X_E}{X_E^2 + R_E^2} \quad B_2 = -0.02 \quad X_2 := \frac{1}{B_2} \quad X_2 = -48.986$$

Розрахувати струми для резонансного стану кола

$$\begin{aligned} Z_1 &:= R_1 + X_{L1} \cdot i - X_{C1} \cdot i & Z_1 &= 11 + 30i \\ Z_3 &:= X_{L2} \cdot i & Z_3 &= 40i \\ Z_4 &:= R_3 + X_{L3} \cdot i & Z_4 &= 15 + 35i \\ Z_5 &:= R_4 - X_{C3} \cdot i & Z_5 &= 17 - 12i \\ Z_{345} &:= \frac{Z_5 \cdot Z_4}{Z_5 + Z_4} + Z_3 & Z_{345} &= 20.055 + 38.554i \end{aligned}$$

Вхідний опір кола:

$$\begin{aligned} Z_{VX}(X_N) &:= \frac{Z_{345} \cdot i \cdot X_N}{Z_{345} + i \cdot X_N} + Z_1 \rightarrow \left(\frac{-59875}{1553} + \frac{31145}{1553} \cdot i \right) \cdot \frac{X_N}{\left(\frac{31145}{1553} + \frac{59875}{1553} \cdot i + i \cdot X_N \right)} + 11 + 30 \cdot i \\ Z_{VX}(X_N) \Big|_{\text{simplify}}^{\text{complex}} &\rightarrow \frac{(1317250 \cdot X_N + 48228 \cdot X_N^2 + 32263550 + 6525550 \cdot i \cdot X_N + 106465 \cdot i \cdot X_N^2 + 87991500)}{(2933050 + 119750 \cdot X_N + 1553 \cdot X_N^2)} \end{aligned}$$

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

$$X_{VX}(X_N) := \operatorname{Im}(Z_{VX}(X_N)) \Big|_{\text{simplify}}^{\text{complex}} \rightarrow 5 \cdot \frac{(1305110 \cdot X_N + 21293 \cdot X_N^2 + 17598300)}{(2933050 + 119750 \cdot X_N + 1553 \cdot X_N^2)}$$

$$X_N := X_{VX}(X_N) \Big|_{\text{float}, 30}^{\text{solve}, X_N} \rightarrow \begin{pmatrix} -20.0293750935112319915143256534 \\ -41.2635380704393621004407769624 \end{pmatrix}$$

Отже резонанс кола може бути при реактивному опорі у другій вітці $X_N = \begin{pmatrix} -20.029 \\ -41.264 \end{pmatrix}$ який носить ємнісний характер ($X_{N0} = -20.029$). ($X_{N1} = -41.264$)

$$X_n := X_{N0} \quad X_n = -20.029 \quad Z_{VX}(X_n) = 21.794$$

$$I_1 := \frac{E_C}{Z_{VX}(X_n)} \quad I_1 = 3.671 - 6.358i \quad F(I_1) = (7.341 \quad -60)$$

$$I_2 := I_1 \cdot \frac{Z_{345}}{Z_{345} + i \cdot X_n} \quad I_2 = 8.924 - 7.545i \quad F(I_2) = (11.686 \quad -40.211)$$

$$I_3 := I_1 - I_2 \quad I_3 = -5.254 + 1.187i \quad F(I_3) = (5.386 \quad 167.271)$$

$$I_4 := I_3 \cdot \frac{Z_5}{Z_4 + Z_5} \quad I_4 = -0.314 + 2.827i \quad F(I_4) = (2.844 \quad 96.346)$$

$$I_5 := I_3 - I_4$$

$$I_5 = -4.939 - 1.64i$$

$$F(I_5) = (5.204 \quad -161.635)$$

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

$$S_1 = 1.175 \times 10^3$$

$$P := (|I_1|)^2 \cdot R_1 + (|I_4|)^2 \cdot R_3 + (|I_5|)^2 \cdot R_4 \quad P = 1.175 \times 10^3$$

$$Q := (|I_1|)^2 \cdot (X_{L1} - X_{C1}) + (|I_2|)^2 \cdot X_n + (|I_3|)^2 \cdot (X_{L2}) + (|I_4|)^2 \cdot X_{L3} + (|I_5|)^2 \cdot (-X_{C3}) \quad Q = -5.684 \times 10^{-14}$$

$$\text{При } X_n := X_{N_1} \quad X_n = -41.264 \quad Z_{VX}(X_n) = 94.38$$

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

$$I_1 = 0.848 - 1.468i$$

$$F(I_1) = (1.695 \quad -60)$$

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

$$I_2 = 3.583 + 0.645i$$

$$F(I_2) = (3.641 \quad 10.211)$$

$$I_3 := I_1 - I_2$$

$$I_3 = -2.735 - 2.114i$$

$$F(I_3) = (3.457 \quad -142.307)$$

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

$$I_4 = -1.527 + i$$

$$F(I_4) = (1.825 \quad 146.769)$$

$$I_5 := I_3 - I_4$$

$$I_5 = -1.209 - 3.114i$$

$$F(I_5) = (3.34 \quad -111.212)$$

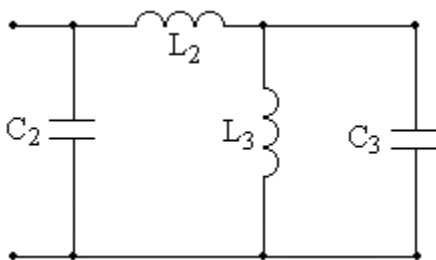
$$S_1 := E_C \cdot \overline{I_1}$$

$$S_1 = 271.244$$

$$P := (|I_1|)^2 \cdot R_1 + (|I_4|)^2 \cdot R_3 + (|I_5|)^2 \cdot R_4 \quad P = 271.244$$

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

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



$$L_2 := \frac{X_{L2}}{\omega} \rightarrow \frac{1}{5 \cdot \pi}$$

$$L_2 = 0.064$$

$$L_3 := \frac{X_{L3}}{\omega} \rightarrow \frac{7}{40 \cdot \pi}$$

$$L_3 = 0.056$$

$$C_2 := \frac{1}{\omega \cdot X_{C2}} \rightarrow \frac{1}{3000 \cdot \pi}$$

$$C_2 = 1.061 \times 10^{-4}$$

$$C_3 := \frac{1}{\omega \cdot X_{C3}} \rightarrow \frac{1}{2400 \cdot \pi}$$

$$C_3 = 1.326 \times 10^{-4}$$

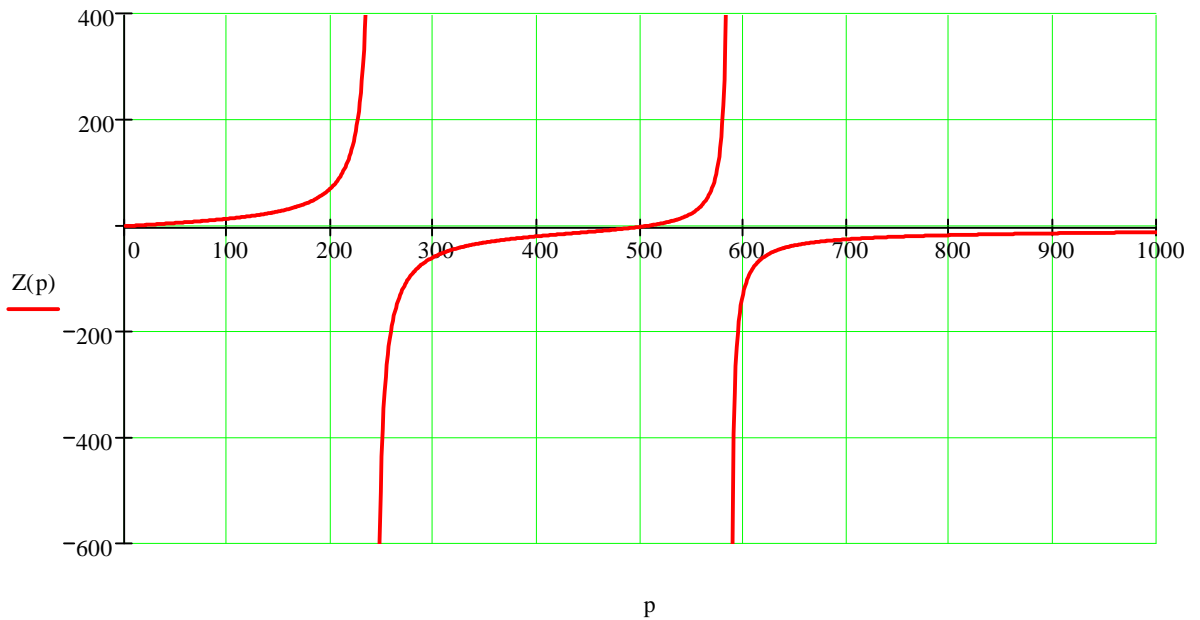
$$Z(p) := \frac{\left(\frac{p \cdot L_3 \cdot \frac{-1}{p \cdot C_3}}{p \cdot L_3 - \frac{1}{p \cdot C_3}} + p \cdot L_2 \right) \cdot \frac{-1}{p \cdot C_2}}{\frac{-1}{p \cdot C_2} + \frac{p \cdot L_3 \cdot \frac{-1}{p \cdot C_3}}{p \cdot L_3 - \frac{1}{p \cdot C_3}} + p \cdot L_2}$$

Знаходимо нулі: $Z(p) = 0$

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

$$w_1 := Z(p) \left| \begin{array}{l} \text{solve, p} \\ \text{float, 3} \end{array} \right. \rightarrow \begin{pmatrix} 502. \\ -502. \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$w := \frac{1}{Z(p)} \left| \begin{array}{l} \text{solve, p} \\ \text{float, 10} \end{array} \right. \rightarrow \begin{pmatrix} 586.0864895 \\ -586.0864895 \\ 241.5295442 \\ -241.5295442 \end{pmatrix}$$



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 взаємоіндукції.

Спростимо схему до двох незалежних контурів

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

$$Z_4 = 15 + 35i$$

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

$$Z_5 = 17 - 12i$$

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

$$Z_{45} = 20.055 - 1.446i$$

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

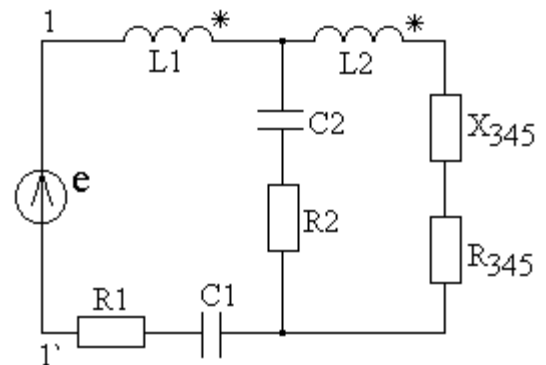
$$Z_{345} = 20.055 - 1.446i$$

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

$$R_{345} = 20.055$$

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

$$X_{345} = -1.446$$



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

$$Z_{11} = 24 + 15i$$

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

$$Z_{22} = 33.055 + 23.554i$$

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

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

$$Z_{12} = 13 - 45i$$

$$U = 80 - 138.564i$$

$$F(U) = (160 \quad -60)$$

Given

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

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

$$\begin{pmatrix} I_1 \\ I_3 \end{pmatrix} := \text{Find}(I_1, I_3) \quad I_2 := I_1 - I_3 \quad \begin{array}{l} I_1 = 0.737 - 1.89i \\ I_2 = 3.076 - 1.811i \\ I_3 = -2.34 - 0.079i \end{array} \quad \begin{array}{l} F(I_1) = (2.028 \quad -68.706) \\ F(I_2) = (3.57 \quad -30.485) \\ F(I_3) = (2.341 \quad -178.066) \end{array}$$

Баланс потужностей електричного кола :

$$\begin{array}{lll} S_r := U \cdot \bar{I}_1 & S_r = 320.818 + 49.125i & \\ P_r := \text{Re}(S_r) & P_r = 320.818 & Q_r := \text{Im}(S_r) \quad Q_r = 49.125 \\ S_{M1} := \bar{I}_1 \cdot I_3 \cdot X_M \cdot i & S_{M1} = 134.4 - 47.224i & F(S_{M1}) = (142.455 \quad -19.36) \\ S_{M2} := \bar{I}_3 \cdot I_1 \cdot X_M \cdot i & S_{M2} = -134.4 - 47.224i & F(S_{M2}) = (142.455 \quad -160.64) \\ S_{KC} := (|I_1|)^2 \cdot (X_{L1} \cdot i + R_1 - X_{C1} \cdot i) + (|I_2|)^2 \cdot (R_2 - X_{C2} \cdot i) + (|I_3|)^2 \cdot (R_{345} + X_{345} \cdot i + X_{L2} \cdot i) \\ S_{KC} + (S_{M1} + S_{M2}) = 320.818 + 49.125i \end{array}$$

Активна потужність взаємодії 1-ї катушки:

$$P_{M1} := \text{Re}(S_{M1}) \quad P_{M1} = 134.4$$

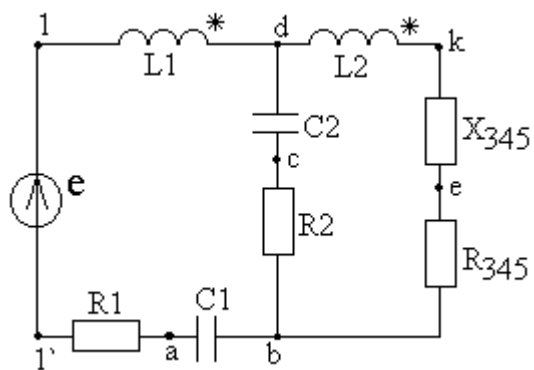
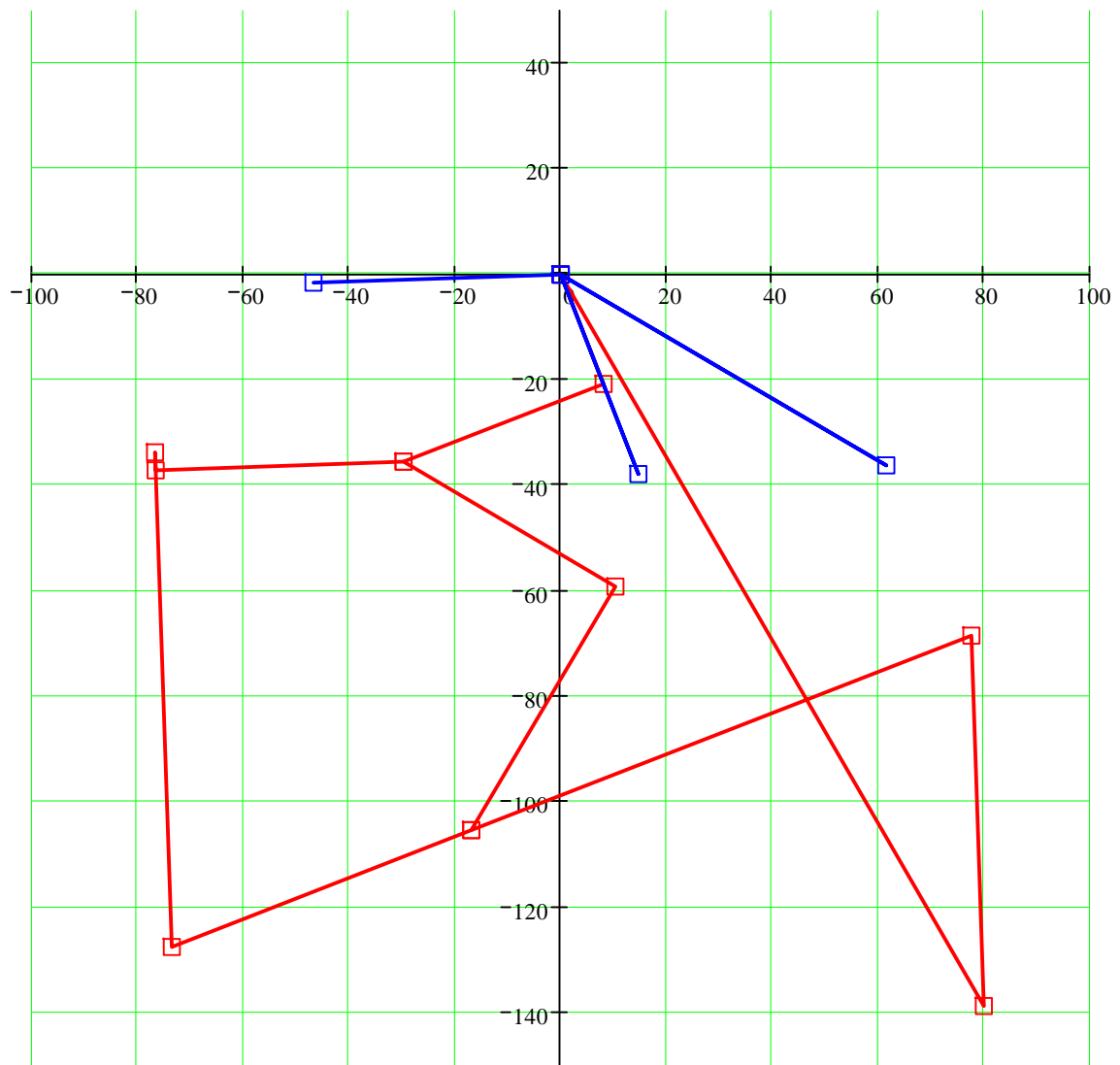
Активна потужність взаємодії 2-ї катушки:

$$P_{M2} := \text{Re}(S_{M2}) \quad P_{M2} = -134.4$$

Визначимо потенціали всіх точок позначених на схемі:

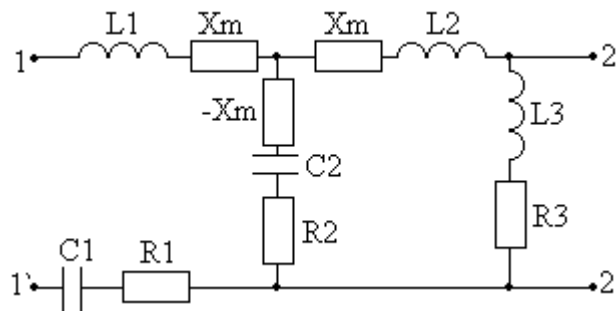
$$\begin{array}{lll} \phi_{1'} := 0 & & \\ \phi_a := \phi_{1'} + I_1 \cdot R_1 & \phi_a = 8.103 - 20.79i & F(\phi_a) = (22.313 \quad -68.706) \\ \phi_b := \phi_a + I_1 \cdot (-X_{C1} \cdot i) & \phi_b = -29.697 - 35.523i & F(\phi_b) = (46.301 \quad -129.895) \\ \phi_c := \phi_b + I_2 \cdot R_2 & \phi_c = 10.294 - 59.066i & F(\phi_c) = (59.956 \quad -80.113) \\ \phi_d := \phi_c + I_2 \cdot (-X_{C2} \cdot i) & \phi_d = -16.87 - 105.209i & F(\phi_d) = (106.553 \quad -99.11) \\ \phi_1 := \phi_d + I_1 \cdot X_{L1} \cdot i & \phi_1 = 77.629 - 68.377i & F(\phi_1) = (103.449 \quad -41.374) \\ \phi_{1'} := \phi_1 + I_3 \cdot X_M \cdot i & \phi_{1'} = 80 - 138.564i & F(\phi_{1'}) = (160 \quad -60) \\ \phi_A := \phi_{1'} - E_C & \phi_A = 2.842 \times 10^{-14} & \\ \phi_e := \phi_b + I_3 \cdot R_{345} & \phi_e = -76.616 - 37.108i & F(\phi_e) = (85.13 \quad -154.158) \\ \phi_k := \phi_e + I_3 \cdot X_{345} \cdot i & \phi_k = -76.731 - 33.726i & F(\phi_k) = (83.815 \quad -156.273) \\ \phi_{d'} := \phi_k + I_3 \cdot X_{L2} \cdot i & \phi_{d'} = -73.57 - 127.309i & F(\phi_{d'}) = (147.038 \quad -120.023) \\ \phi_d := \phi_{d'} + I_1 \cdot X_M \cdot i & \phi_d = -16.87 - 105.209i & F(\phi_d) = (106.553 \quad -99.11) \end{array}$$

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:

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

$$Z_1 := R_1 + X_{L1} \cdot i - X_{C1} \cdot i + X_M \cdot i \rightarrow 11 + 60 \cdot i$$

$$Z_2 := R_2 - X_{C2} \cdot i - X_M \cdot i \rightarrow 13 - 45 \cdot i$$

$$Z_3 := R_3 + X_{L2} \cdot i + X_{L3} \cdot i + X_M \cdot i \rightarrow 15 + 105 \cdot i$$

$$Z_{10} := \frac{Z_2 \cdot Z_3}{Z_2 + Z_3} + Z_1 \quad Z_{10} = 51.867 - 2.929i \quad Z_{20} := \frac{Z_1 \cdot Z_2}{Z_1 + Z_2} + Z_3 \quad Z_{20} = 105.521 + 60.3i$$

$$I_{10} := \frac{U_{10}}{Z_{10}} \quad I_{10} = 1.688 - 2.576i \quad F(I_{10}) = (3.08 \quad -56.768)$$

$$I_{30} := I_{10} \cdot \frac{Z_2}{Z_2 + Z_3} \quad I_{30} = -2.098 + 0.587i \quad F(I_{30}) = (2.179 \quad 164.362)$$

$$U_{20} := I_{30} \cdot (R_3 + i \cdot X_{L3}) \quad U_{20} = -52.029 - 64.627i \quad F(U_{20}) = (82.967 \quad -128.836)$$

$$A := \frac{U_{10}}{U_{20}} \quad A = 0.696 + 1.798i \quad F(A) = (1.928 \quad 68.836)$$

$$C := \frac{I_{10}}{U_{20}} \quad C = 0.011 + 0.035i \quad F(C) = (0.037 \quad 72.068)$$

Коротке замикання:

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

$$Z_1 := R_1 + i \cdot (X_{L1} - X_{C1} + X_M) \rightarrow 11 + 60 \cdot i$$

$$Z_2 := R_2 + i \cdot (-X_{C2} - X_M) \rightarrow 13 - 45 \cdot i$$

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

$$Z_K := \frac{Z_2 \cdot Z_3}{Z_2 + Z_3} + Z_1 \quad Z_K = 91.227 - 24.282i$$

$$I_{1K} := \frac{U_K}{Z_K} \quad I_{1K} = 1.196 - 1.2i \quad F(I_{1K}) = (1.695 \quad -45.095)$$

$$I_{3K} := I_{1K} \cdot \frac{Z_2}{Z_2 + Z_3} \quad I_{3K} = -2.816 + 0.074i \quad F(I_{3K}) = (2.817 \quad 178.493)$$

$$B := \frac{U_K}{I_{3K}} \quad B = -29.679 + 48.418i \quad F(B) = (56.791 \quad 121.507)$$

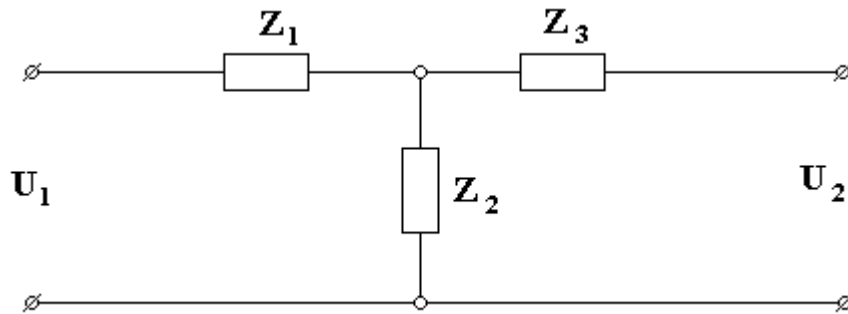
$$D := \frac{I_{1K}}{I_{3K}} \quad D = -0.436 + 0.415i \quad F(D) = (0.602 \quad 136.412)$$

Перевірка $A \cdot D - B \cdot C = 1$

$F(A) = (1.928 \ 68.836)$ $F(B) = (56.791 \ 121.507)$

$F(C) = (0.037 \ 72.068)$ $F(D) = (0.602 \ 136.412)$

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



$$Z_1 = 11 + 60i$$

$$F(Z_1) = (61 \ 79.611)$$

$$Z_2 = 13 - 45i$$

$$F(Z_2) = (46.84 \ -73.887)$$

$$Z_3 = 70i$$

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

$$R_1 := \operatorname{Re}(Z_1) \quad R_1 = 11$$

$$X_1 := \operatorname{Im}(Z_1) \quad X_1 = 60$$

$$R_2 := \operatorname{Re}(Z_2) \quad R_2 = 13$$

$$X_2 := \operatorname{Im}(Z_2) \quad X_2 = -45$$

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

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

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

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

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

$$L_1 = 0.095$$

$$C = 3.537 \times 10^{-5}$$

$$L_2 = 0.111$$