

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

Розрахунково-графічна робота
“Розрахунок однофазного кола синусоїдного струму”
Варіант № 221

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

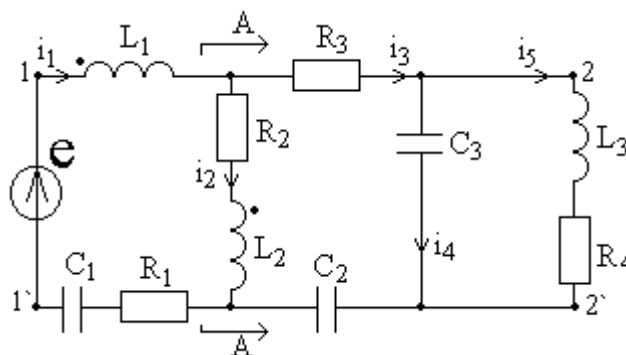
$$E := 120 \quad \psi := -30 \quad R_1 := 7 \quad R_2 := 9 \quad R_3 := 11 \quad R_4 := 13 \quad X_{L1} := 35 \quad X_{L2} := 40 \quad X_{L3} := 45$$

$$X_{C1} := 15 \quad X_{C2} := 20 \quad X_{C3} := 25 \quad X_M := 23 \quad f := 60$$

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

$$U = 103.923 - 60i$$

$$F(U) = (120 \quad -30)$$



Символічний метод

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

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

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

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

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

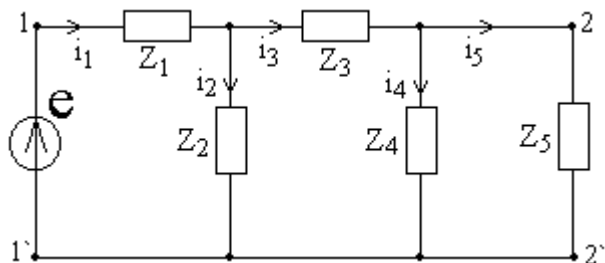
$$Z_1 = 7 + 20i$$

$$Z_2 = 9 + 40i$$

$$Z_3 = 11 - 20i$$

$$Z_4 = -25i$$

$$Z_5 = 13 + 45i$$



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

$$Z_{345} = 25.279 - 66.968i$$

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

$$Z_E = 53.578 + 68.56i$$

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

$$I_1 = 0.192 - 1.366i$$

$$F(I_1) = (1.379 \quad -81.993)$$

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

$$I_2 = -0.889 - 2.082i$$

$$F(I_2) = (2.263 \quad -113.119)$$

$$I_3 := I_1 - I_2$$

$$I_3 = 1.081 + 0.716i$$

$$F(I_3) = (1.296 \quad 33.519)$$

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

$$I_4 = 1.622 + 1.962i$$

$$F(I_4) = (2.546 \quad 50.43)$$

$$I_5 := I_3 - I_4$$

$$I_5 = -0.541 - 1.246i$$

$$F(I_5) = (1.359 \quad -113.457)$$

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 :

$$S_r := U \cdot I_1$$

$$S_r = 101.905 + 130.399i$$

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

$$P = 101.905$$

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

$$Q = 130.399i$$

Будуємо сумісну векторну діаграму струмів та топографічну діаграму напруг

Визначимо потенціали всіх точок позначених на схемі:

$$\phi_a := 0$$

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

$$\phi_b = -20.485 - 2.882i$$

$$F(\phi_b) = (20.687 \quad -171.993)$$

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

$$\phi_c = -19.14 - 12.441i$$

$$F(\phi_c) = (22.829 \quad -146.976)$$

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

$$\phi_d = 64.123 - 47.989i$$

$$F(\phi_d) = (80.092 \quad -36.811)$$

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

$$\phi_e = 56.124 - 66.724i$$

$$F(\phi_e) = (87.189 \quad -49.931)$$

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

$$\phi_1 = 103.923 - 60i$$

$$F(\phi_1) = (120 \quad -30)$$

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

$$\phi_A = 2.132i \times 10^{-14}$$

$$F(\phi_A) = (2.132 \times 10^{-14} \quad 90)$$

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

$$\phi_k = -4.822 - 34.057i$$

$$F(\phi_k) = (34.397 \quad -98.059)$$

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

$$\phi_z = 44.235 - 74.599i$$

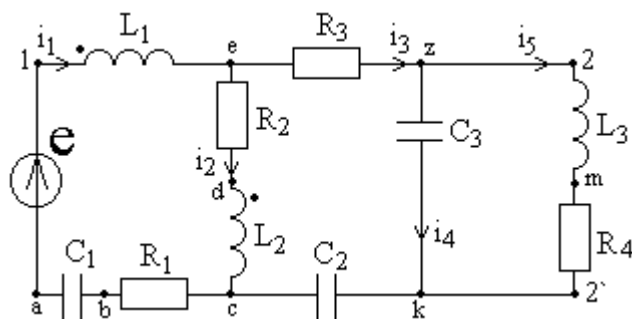
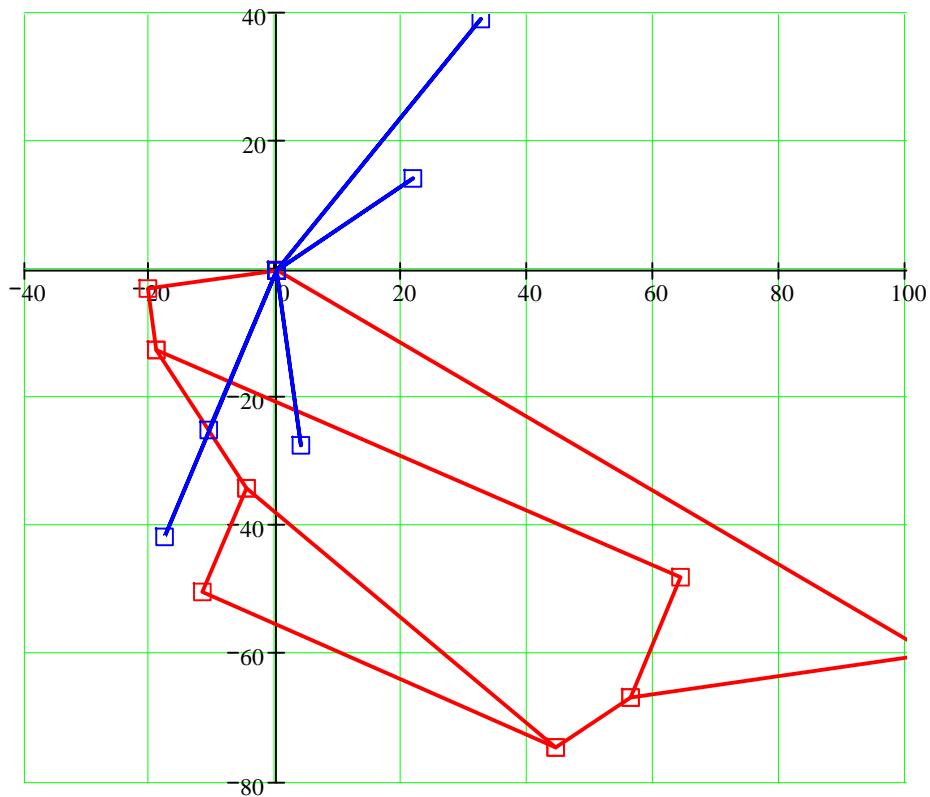
$$F(\phi_z) = (86.728 \quad -59.333)$$

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

$$\phi_m = -11.853 - 50.261i$$

$$F(\phi_m) = (51.64 \quad -103.27)$$

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.

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

$$Z_3 = -20i$$

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

$$Z_4 = 11 + 45i$$

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

$$Z_5 = 13 - 25i$$

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

$$Z_E = 37.533 - 38.361i$$

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

$$R_E = 37.533$$

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

$$X_E = -38.361$$

Умова резонансу струмів на ділянці "ab" :

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

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

$$B_2 = 0.013$$

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

$$X_2 = 75.083$$

Додатній знак свідчить про індуктивний характер опору

Розрахувати струми для резонансного стану кола

$$\begin{aligned} Z_1 &:= R_1 + X_{L1} \cdot i - X_{C1} \cdot i & Z_1 &= 7 + 20i \\ Z_3 &:= R_3 - X_{C2} \cdot i & Z_3 &= 11 - 20i \\ Z_4 &:= -X_{C3} \cdot i & Z_4 &= -25i \\ Z_5 &:= R_4 + X_{L3} \cdot i & Z_5 &= 13 + 45i \end{aligned}$$

$$Z_{345} := \frac{Z_5 \cdot Z_4}{Z_5 + Z_4} + Z_3 \quad Z_{345} = 25.279 - 66.968i$$

Вхідний опір кола:

$$\begin{aligned} Z_{VX}(X_N) &:= \frac{Z_{345} \cdot i \cdot X_N}{Z_{345} + i \cdot X_N} + Z_1 \rightarrow \left(\frac{38105}{569} + \frac{14384}{569} \cdot i \right) \cdot \frac{X_N}{\left(\frac{14384}{569} - \frac{38105}{569} \cdot i + i \cdot X_N \right)} + 7 + 20 \cdot i \\ Z_{VX}(X_N) &\left| \begin{array}{l} \text{complex} \\ \text{simplify} \end{array} \right. \rightarrow \frac{-\left(533470 \cdot X_N - 18367 \cdot X_N^2 - 20408143 - 1391249 \cdot i \cdot X_N + 26725 \cdot i \cdot X_N^2 - 58308980 \cdot i \right)}{\left(2915449 - 76210 \cdot X_N + 569 \cdot X_N^2 \right)} \end{aligned}$$

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

$$X_{VX}(X_N) := \text{Im}(Z_{VX}(X_N)) \left| \begin{array}{l} \text{complex} \\ \text{simplify} \end{array} \right. \rightarrow \frac{-\left(-1391249 \cdot X_N + 26725 \cdot X_N^2 - 58308980 \right)}{\left(2915449 - 76210 \cdot X_N + 569 \cdot X_N^2 \right)}$$

Нулі функції (уявної частини вхідного опору) дорівнюють:

$$X_N := X_{VX}(X_N) \left| \begin{array}{l} \text{solve, } X_N \\ \text{float, } 50 \end{array} \right. \rightarrow \left(\begin{array}{l} 79.501607466462508829267961349470472908982505955648 \\ -27.443646755517700597275444979030809672312721109998 \end{array} \right)$$

Отже резонанс кола можливий при таких опорах у другій вітці: $X_N = \left(\begin{array}{l} 79.502 \\ -27.444 \end{array} \right)$

$$X_n := X_{N0} \quad X_n = 79.502 \quad Z_{VX}(X_n) = 207.694$$

$$I_1 := \frac{U}{Z_{VX}(X_n)} \quad I_1 = 0.5 - 0.289i \quad F(I_1) = (0.578 \quad -30)$$

$$I_2 := I_1 \cdot \frac{Z_{345}}{Z_{345} + i \cdot X_n} \quad I_2 = -0.855 - 1.19i \quad F(I_2) = (1.466 \quad -125.691)$$

$$I_3 := I_1 - I_2 \quad I_3 = 1.356 + 0.902i \quad F(I_3) = (1.628 \quad 33.628)$$

$$I_4 := I_3 \cdot \frac{Z_5}{Z_4 + Z_5} \quad I_4 = 2.032 + 2.468i \quad F(I_4) = (3.197 \quad 50.539)$$

$$I_5 := I_3 - I_4 \quad I_5 = -0.676 - 1.566i \quad F(I_5) = (1.706 \quad -113.348)$$

$$S_1 := U \cdot \overline{I_1} \quad S_1 = 69.333$$

$$P := \left(|I_1| \right)^2 \cdot R_1 + \left(|I_3| \right)^2 \cdot R_3 + \left(|I_5| \right)^2 \cdot R_4 \quad P = 69.333$$

$$Q := \left(|I_1| \right)^2 \cdot (X_{L1} - X_{C1}) + \left(|I_2| \right)^2 \cdot X_n + \left(|I_3| \right)^2 \cdot (-X_{C2}) + \left(|I_4| \right)^2 \cdot (-X_{C3}) + \left(|I_5| \right)^2 \cdot X_{L3} \quad Q = -5.684 \times 10^{-14}$$

$$\text{При } X_n := X_{N_1} \quad X_n = -27.444 \quad Z_{VX}(X_n) = 8.993$$

$$I_1 := \frac{U}{Z_{VX}(X_n)} \quad I_1 = 11.556 - 6.672i \quad F(I_1) = (13.344 \quad -30)$$

$$I_2 := I_1 \cdot \frac{Z_{345}}{Z_{345} + i \cdot X_n} \quad I_2 = 8.906 - 4.023i \quad F(I_2) = (9.773 \quad -24.309)$$

$$I_3 := I_1 - I_2 \quad I_3 = 2.65 - 2.649i \quad F(I_3) = (3.747 \quad -44.99)$$

$$I_4 := I_3 \cdot \frac{Z_5}{Z_4 + Z_5} \quad I_4 = 6.491 - 3.463i \quad F(I_4) = (7.357 \quad -28.079)$$

$$I_5 := I_3 - I_4 \quad I_5 = -3.841 + 0.814i \quad F(I_5) = (3.927 \quad 168.034)$$

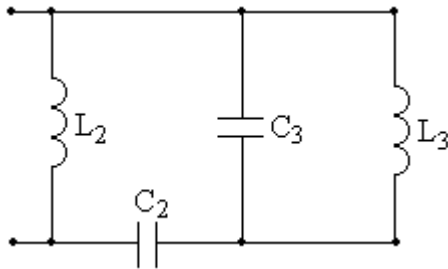
$$S_1 := U \cdot \overline{I_1} \quad S_1 = 1.601 \times 10^3$$

$$P := (|I_1|)^2 \cdot R_1 + (|I_3|)^2 \cdot R_3 + (|I_5|)^2 \cdot R_4 \quad P = 1.601 \times 10^3$$

$$Q := (|I_1|)^2 \cdot (X_{L1} - X_{C1}) + (|I_2|)^2 \cdot X_n + (|I_3|)^2 \cdot (-X_{C2}) + (|I_4|)^2 \cdot (-X_{C3}) + (|I_5|)^2 \cdot X_{L3} \quad Q = -3.411 \times 10^{-13}$$

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

закоротити



$$L_3 := \frac{X_{L3}}{\omega} \quad L_3 = 0.119$$

$$C_2 := \frac{1}{\omega \cdot X_{C2}} \quad C_2 = 1.326 \times 10^{-4}$$

$$C_3 := \frac{1}{\omega \cdot X_{C3}} \quad C_3 = 1.061 \times 10^{-4}$$

$$L_2 := \frac{X_{L2}}{\omega} \quad L_2 = 0.106$$

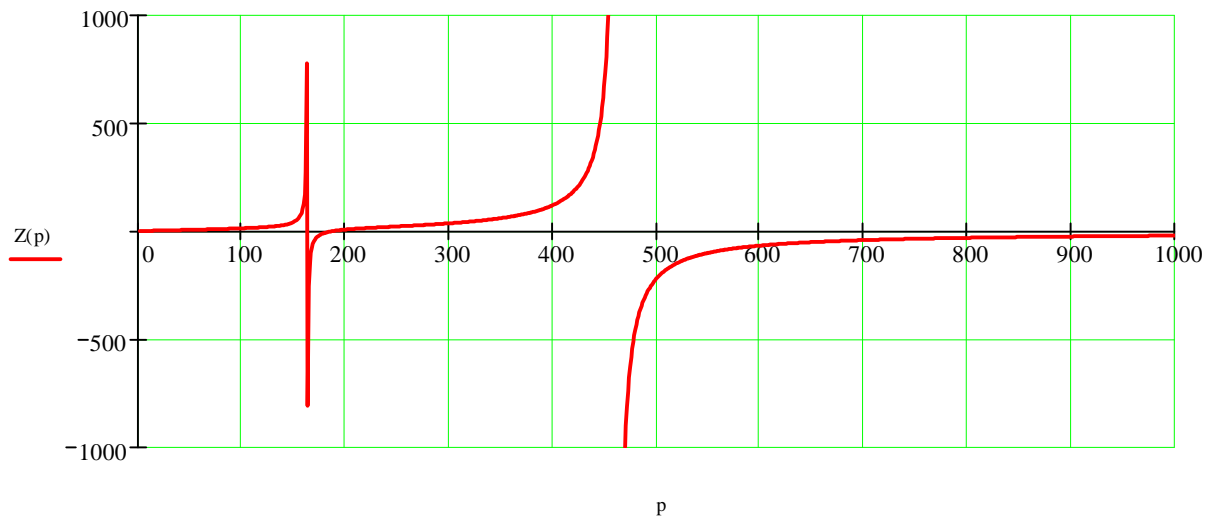
$$Z(p) := \frac{\left(\frac{p \cdot L_3 \cdot \frac{-1}{p \cdot C_3} + \frac{-1}{p \cdot C_2}}{p \cdot L_3 + \frac{-1}{p \cdot C_3}} \right) \cdot p \cdot L_2}{p \cdot L_2 + \frac{p \cdot L_3 \cdot \frac{-1}{p \cdot C_3}}{p \cdot L_3 + \frac{-1}{p \cdot C_3}} + \frac{-1}{p \cdot C_2}}$$

Знаходимо нулі: $Z(p) = 0$

$$w_1 := Z(p) \left| \begin{array}{l} \text{solve, } p \\ \text{float, } 3 \end{array} \right. \rightarrow \begin{pmatrix} 0 \\ 188. \\ -188. \end{pmatrix} \quad w_1 := \begin{pmatrix} w_{10} \\ w_{11} \end{pmatrix} \quad w_1 = \begin{pmatrix} 0 \\ 188 \end{pmatrix}$$

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

$$w := \frac{1}{Z(p)} \left| \begin{array}{l} \text{solve, } p \\ \text{float, } 10 \end{array} \right. \rightarrow \begin{pmatrix} 460.9039327 \\ -460.9039327 \\ 162.5176649 \\ -162.5176649 \end{pmatrix} \quad w := \begin{pmatrix} w_0 \\ w_2 \end{pmatrix} \quad w = \begin{pmatrix} 460.904 \\ 162.518 \end{pmatrix}$$



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

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

$$Z_3 = 11 - 20i$$

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

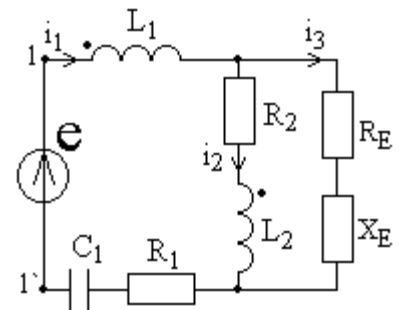
$$Z_4 = -25i$$

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

$$Z_5 = 13 + 45i$$

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

$$Z_{345} = 25.279 - 66.968i$$



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

$$R_E = 25.279$$

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

$$X_E = -66.968$$

Знайдемо контурні та міжконтурні опори схеми:

$$Z_{11} := R_1 + R_2 + X_{L2} \cdot i + X_{L1} \cdot i - X_{C1} \cdot i + 2 \cdot X_M \cdot i$$

$$Z_{11} = 16 + 106i$$

$$Z_{22} := R_E + X_E \cdot i + X_{L2} \cdot i + R_2$$

$$Z_{22} = 34.279 - 26.968i$$

$$Z_{12} := R_2 + X_{L2} \cdot i + X_M \cdot i$$

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

$$Z_{12} = 9 + 63i$$

$$U = 103.923 - 60i$$

$$F(U) = (120 \quad -30)$$

Given

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

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

$$\begin{pmatrix} I_1 \\ I_3 \end{pmatrix} := \operatorname{Find}(I_1, I_3)$$

$$I_2 := I_1 - I_3$$

$$I_1 = 0.072 - 0.687i$$

$$F(I_1) = (0.69 \quad -84.021)$$

$$I_2 = -0.742 - 1.279i$$

$$F(I_2) = (1.479 \quad -120.133)$$

$$I_3 = 0.814 + 0.593i$$

$$F(I_3) = (1.007 \quad 36.042)$$

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

$$I_4 = 1.191 + 1.578i$$

$$F(I_4) = (1.978 \quad 52.953)$$

$$I_5 := I_3 - I_4$$

$$I_5 = -0.377 - 0.986i$$

$$F(I_5) = (1.056 \quad -110.934)$$

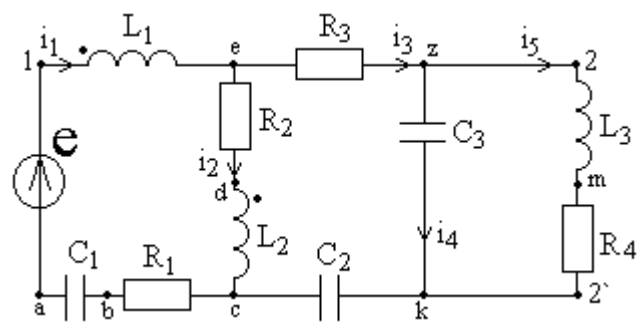
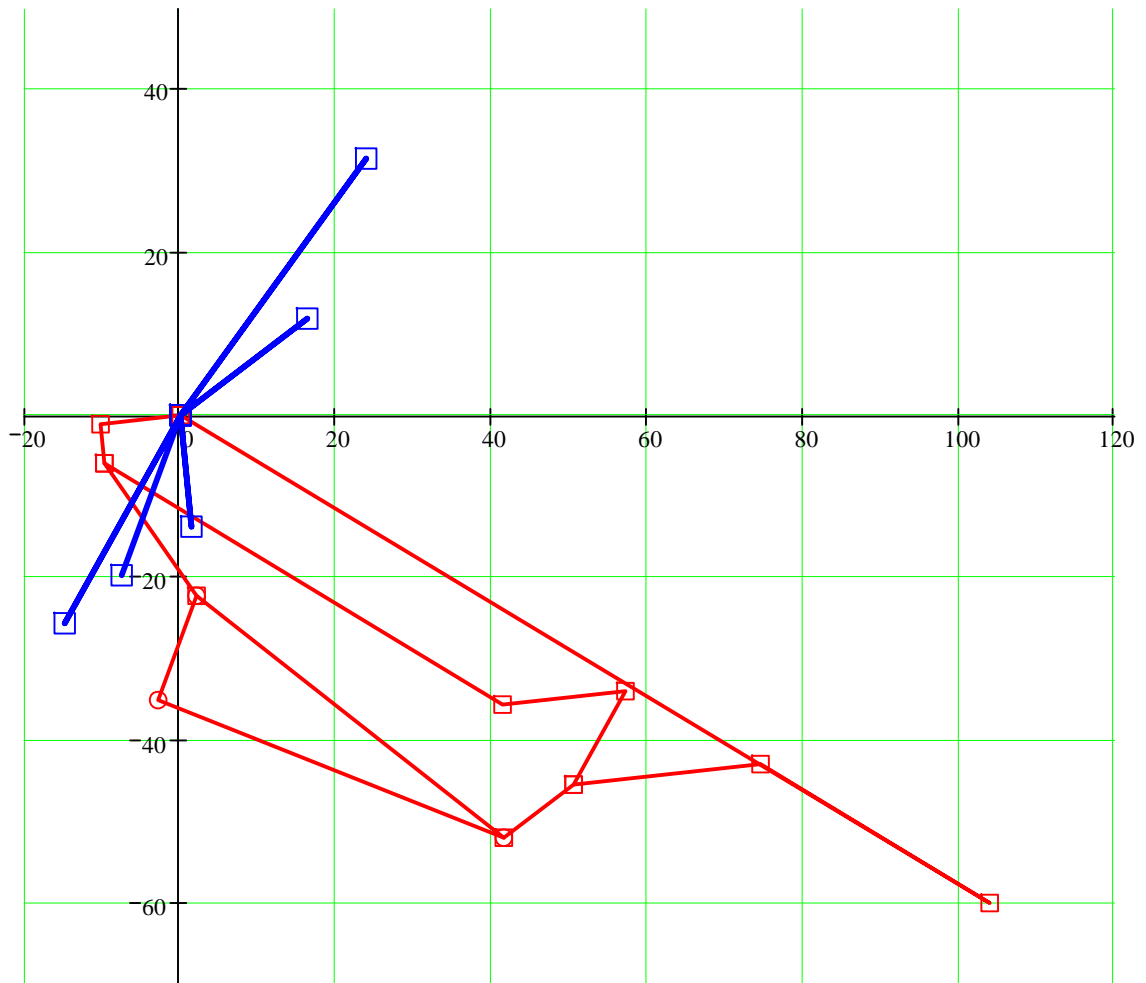
Баланс потужностей електричного кола :

$$\begin{aligned}
 S_r &:= U \cdot \overline{I_1} & S_r &= 48.663 + 67.029i \\
 P_r &:= \operatorname{Re}(S_r) & P_r &= 48.663 & Q_r &:= \operatorname{Im}(S_r) & Q_r &= 67.029 \\
 S_{M1} &:= \overline{I_1} \cdot I_2 \cdot X_M \cdot i & S_{M1} &= 13.838 + 18.968i & F(S_{M1}) &= (23.48 \quad 53.887) \\
 S_{M2} &:= \overline{I_2} \cdot I_1 \cdot X_M \cdot i & S_{M2} &= -13.838 + 18.968i & F(S_{M2}) &= (23.48 \quad 126.113) \\
 S_{KC} &:= \left(|I_1| \right)^2 \cdot (X_{L1} \cdot i + R_1 - X_{C1} \cdot i) + \left(|I_2| \right)^2 \cdot (R_2 + X_{L2} \cdot i) + \left(|I_3| \right)^2 \cdot (R_E + X_E \cdot i) + S_{M1} + S_{M2} \\
 S_{KC} &= 48.663 + 67.029i
 \end{aligned}$$

Визначимо потенціали всіх точок позначених на схемі:

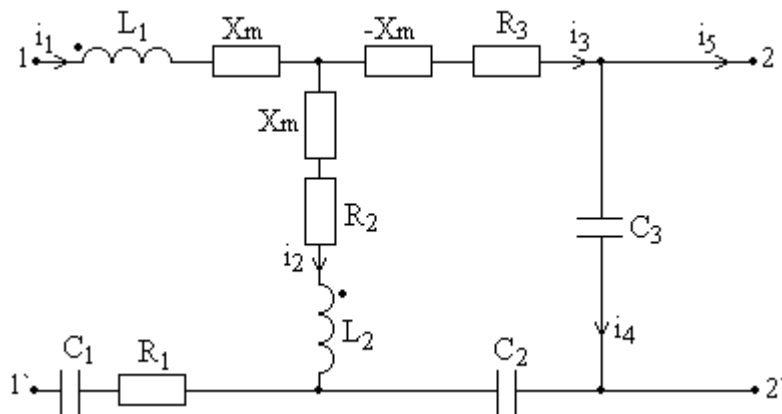
$$\begin{aligned}
 \phi_a &:= 0 \\
 \phi_b &:= \phi_a + I_1 \cdot (-X_{C1} \cdot i) & \phi_b &= -10.298 - 1.079i & F(\phi_b) &= (10.354 \quad -174.021) \\
 \phi_c &:= \phi_b + I_1 \cdot R_1 & \phi_c &= -9.794 - 5.884i & F(\phi_c) &= (11.426 \quad -149.004) \\
 \phi_{d'} &:= \phi_c + I_2 \cdot X_{L2} \cdot i & \phi_{d'} &= 41.369 - 35.582i & F(\phi_{d'}) &= (54.566 \quad -40.699) \\
 \phi_d &:= \phi_{d'} + I_1 \cdot X_M \cdot i & \phi_d &= 57.159 - 33.928i & F(\phi_d) &= (66.47 \quad -30.693) \\
 \phi_e &:= \phi_d + I_2 \cdot R_2 & \phi_e &= 50.477 - 45.44i & F(\phi_e) &= (67.917 \quad -41.994) \\
 \phi_{1'} &:= \phi_e + I_1 \cdot X_{L1} \cdot i & \phi_{1'} &= 74.504 - 42.924i & F(\phi_{1'}) &= (85.984 \quad -29.947) \\
 \phi_1 &:= \phi_{1'} + I_2 \cdot X_M \cdot i & \phi_1 &= 103.923 - 60i & F(\phi_1) &= (120 \quad -30) \\
 \phi_A &:= \phi_1 - U & \phi_A &= 2.842 \times 10^{-14} + 2.132i \times 10^{-14} & F(\phi_A) &= \left(3.553 \times 10^{-14} \quad 36.87 \right) \\
 \phi_k &:= \phi_c + I_3 \cdot (-X_{C2} \cdot i) & \phi_k &= 2.057 - 22.171i & F(\phi_k) &= (22.267 \quad -84.698) \\
 \phi_z &:= \phi_k + I_4 \cdot (-X_{C3} \cdot i) & \phi_z &= 41.519 - 51.959i & F(\phi_z) &= (66.509 \quad -51.373) \\
 \phi_e &:= \phi_z + I_3 \cdot R_3 & \phi_e &= 50.477 - 45.44i & F(\phi_e) &= (67.917 \quad -41.994) \\
 \phi_m &:= \phi_k + I_5 \cdot R_4 & \phi_m &= -2.845 - 34.987i & F(\phi_m) &= (35.103 \quad -94.649) \\
 \phi_z &:= \phi_m + I_5 \cdot X_{L3} \cdot i & \phi_z &= 41.519 - 51.959i & F(\phi_z) &= (66.509 \quad -51.373)
 \end{aligned}$$

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" :

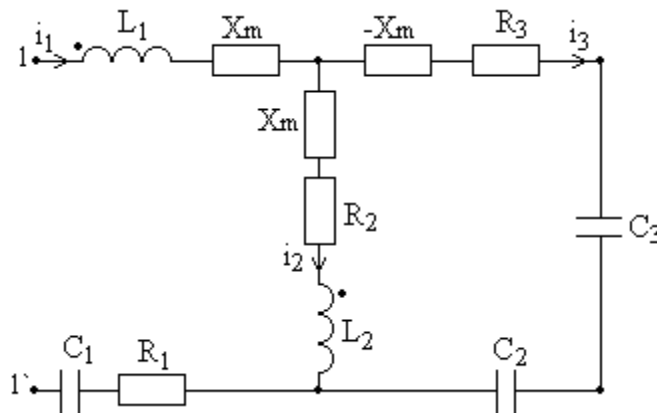
1) Розрахувати коефіцієнти чотириполюсника **A, B, C, D**



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

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

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



$$Z_1 := R_1 + j \cdot (X_{L1} + X_M - X_{C1}) \quad Z_1 = 7 + 43i$$

$$Z_2 := R_2 + j \cdot (X_{L2} + X_M) \quad Z_2 = 9 + 63i$$

$$Z_3 := R_3 - j \cdot (X_M + X_{C3} + X_{C2}) \quad Z_3 = 11 - 68i$$

$$Z_{10} := \frac{Z_2 \cdot Z_3}{Z_2 + Z_3} + Z_1 \quad Z_{10} = 212.306 + 98.376i$$

$$Z_{20} := \frac{Z_1 \cdot Z_2}{Z_1 + Z_2} + Z_3 \quad Z_{20} = 14.953 - 42.441i$$

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

$$I_{10} = 0.295 - 0.419i$$

$$F(I_{10}) = (0.513 \quad -54.862)$$

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

$$I_{30} = 1.194 + 1.04i$$

$$F(I_{30}) = (1.583 \quad 41.044)$$

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

$$U_{20} = 25.989 - 29.85i$$

$$F(U_{20}) = (39.578 \quad -48.956)$$

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

$$A = 2.868 + 0.985i$$

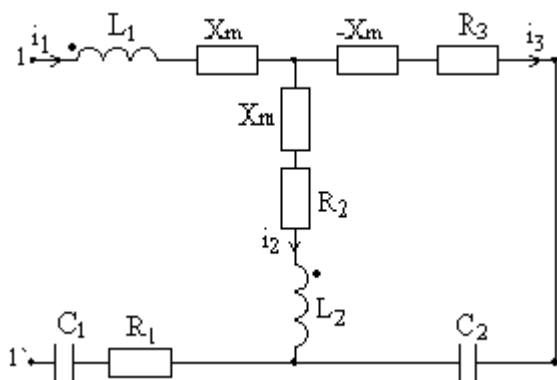
$$F(A) = (3.032 \quad 18.956)$$

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

$$C = 0.013 - 1.333i \times 10^{-3}$$

$$F(C) = (0.013 \quad -5.906)$$

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



$$Z_1 = 7 + 43i$$

$$Z_2 := R_2 + j \cdot (X_{L2} + X_M) \quad Z_2 = 9 + 63i$$

$$Z_3 := R_3 - j \cdot (X_M + X_{C2}) \quad Z_3 = 11 - 43i$$

$$Z_K := \frac{Z_2 \cdot Z_3}{Z_2 + Z_3} + Z_1 \quad Z_K = 84.85 - 19.55i$$

$$I_{1K} := \frac{U_K}{Z_K} \quad I_{1K} = 1.318 - 0.404i \quad F(I_{1K}) = (1.378 \quad -17.025)$$

$$I_{2K} := I_{1K} \cdot \frac{Z_2}{Z_2 + Z_3} \quad I_{2K} = 2.917 + 1.053i \quad F(I_{2K}) = (3.101 \quad 19.845)$$

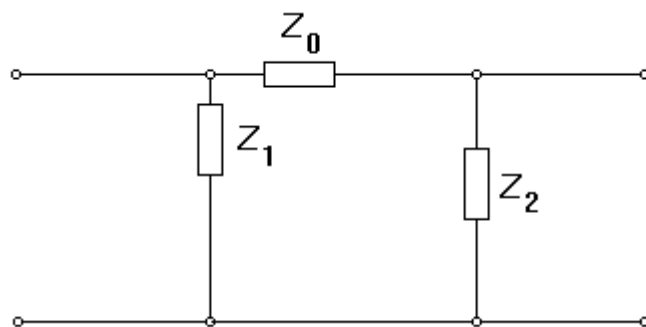
$$B := \frac{U}{I_{2K}} \quad B = 24.956 - 29.578i \quad F(B) = (38.699 \quad -49.845)$$

$$D := \frac{I_{1K}}{I_{2K}} \quad D = 0.356 - 0.267i \quad F(D) = (0.444 \quad -36.87)$$

Перевірка

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

Розрахувати параметри віток схеми П заміщення



$$Z_0 := B \quad Z_0 = 24.956 - 29.578i \quad F(Z_0) = (38.699 \quad -49.845)$$

$$Y_1 := \frac{D - 1}{B} \quad Y_1 = -5.472 \times 10^{-3} - 0.017i \quad F(Y_1) = (0.018 \quad -107.676)$$

$$Y_2 := \frac{A - 1}{B} \quad Y_2 = 0.012 + 0.053i \quad F(Y_2) = (0.055 \quad 77.651)$$

$$R_0 := \operatorname{Re}(Z_0) \quad R_0 = 24.956 \quad X_{C0} := -\operatorname{Im}(Z_0) \quad X_{C0} = 29.578$$

$$Z_1 := \frac{1}{Y_1} \quad Z_1 = -16.848 + 52.868i \quad R_1 := \operatorname{Re}(Z_1) \quad R_1 = -16.848 \quad X_{L1} := \operatorname{Im}(Z_1) \quad X_{L1} = 52.868$$

$$Z_2 := \frac{1}{Y_2} \quad Z_2 = 3.92 - 17.905i \quad R_2 := \operatorname{Re}(Z_2) \quad R_2 = 3.92 \quad X_{C2} := -\operatorname{Im}(Z_2) \quad X_{C2} = 17.905$$

$$L_1 := \frac{X_{L1}}{\omega} \quad L_1 = 0.14 \quad C_2 := \frac{1}{\omega \cdot X_{C2}} \quad C_2 = 1.481 \times 10^{-4}$$

$$C_0 := \frac{1}{\omega \cdot X_{C0}} \quad C_0 = 8.968 \times 10^{-5}$$