

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

Розрахунково-графічна робота
“Розрахунок однофазного кола синусоїдного струму”
Варіант № 310

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):

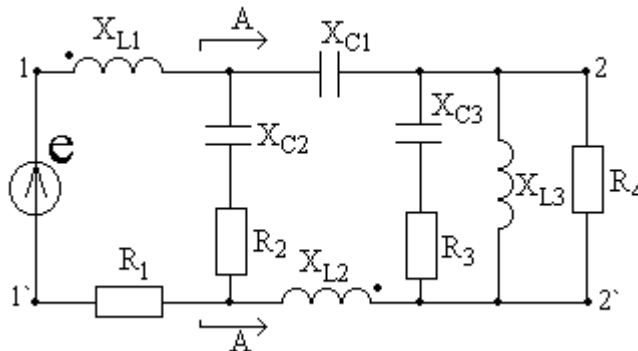
- 2.1. Перетворивши схему до двох незалежних контурів, розрахувати струми у всіх вітках схеми методом контурних струмів;
- 2.2. Перевірити правильність розрахунків за балансом потужностей, визначити активну і реактивну потужності магнітного зв'язку;
- 2.3. Побудувати сумісну векторну діаграму струмів 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 чотиріполюсника;
- 3.2. Розрахувати параметри R, L, C віток схеми заміщення.

$$\begin{aligned} E &:= 140 & \psi &:= -45 & R_1 &:= 9 & R_2 &:= 11 & R_3 &:= 13 & R_4 &:= 15 \\ X_{L1} &:= 30 & X_{L2} &:= 35 & X_{L3} &:= 40 & X_{C1} &:= 10 & X_{C2} &:= 15 & X_{C3} &:= 20 \\ X_M &:= 20 & f &:= 50 & \omega &:= 2 \cdot \pi \cdot f & \omega &= 314.159 \end{aligned}$$

$$U := E \cdot e^{j \cdot \psi \cdot \frac{\pi}{180}} \quad U = 98.995 - 98.995i \quad F(U) = (140 \quad -45)$$



Символічний метод

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

$$Z_2 := R_2 - X_{C2} \cdot i$$

$$Z_3 := X_{L2} \cdot i - X_{C1} \cdot i$$

$$Z_4 := R_3 - X_{C3} \cdot i$$

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

$$Z_6 := R_4$$

$$Z_1 = 9 + 30i$$

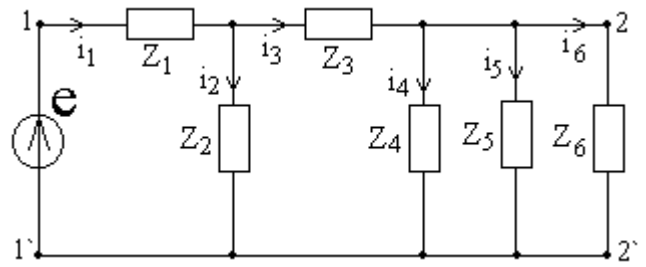
$$Z_2 = 11 - 15i$$

$$Z_3 = 25i$$

$$Z_4 = 13 - 20i$$

$$Z_5 = 40i$$

$$Z_6 = 15$$



$$Z_{3456} := \frac{\left(\frac{Z_6 \cdot Z_5}{Z_6 + Z_5} \right) \cdot Z_4}{\left(\frac{Z_6 \cdot Z_5}{Z_6 + Z_5} \right) + Z_4} + Z_3 \quad Z_{3456} = 11.03 + 23.749i$$

$$Z_E := \frac{Z_2 \cdot Z_{3456}}{Z_2 + Z_{3456}} + Z_1 \quad Z_E = 29.217 + 26.319i$$

$$I_1 := \frac{U}{Z_E} \quad I_1 = 0.185 - 3.555i \quad F(I_1) = (3.56 \quad -87.014)$$

$$I_2 := I_1 \cdot \frac{Z_{3456}}{Z_{3456} + Z_2} \quad I_2 = 2.849 - 2.712i \quad F(I_2) = (3.933 \quad -43.586)$$

$$I_3 := I_1 - I_2 \quad I_3 = -2.663 - 0.844i \quad F(I_3) = (2.794 \quad -162.421)$$

$$I_4 := I_3 \cdot \frac{\left(\frac{Z_5 \cdot Z_6}{Z_5 + Z_6} \right)}{Z_4 + \left(\frac{Z_5 \cdot Z_6}{Z_5 + Z_6} \right)} \quad I_4 = -0.485 - 1.206i \quad F(I_4) = (1.3 \quad -111.914)$$

$$I_5 := I_3 \cdot \frac{\left(\frac{Z_4 \cdot Z_6}{Z_4 + Z_6} \right)}{Z_5 + \left(\frac{Z_4 \cdot Z_6}{Z_4 + Z_6} \right)} \quad I_5 = -0.149 + 0.761i \quad F(I_5) = (0.775 \quad 101.11)$$

$$I_6 := I_3 - I_4 - I_5 \quad I_6 = -2.029 - 0.398i \quad F(I_6) = (2.068 \quad -168.89)$$

Перевірка за першим законом Кіргофа:

$$I_1 - I_2 - I_3 = 0$$

$$I_3 - I_4 - I_5 - I_6 = 0$$

$$I_2 + I_4 + I_5 + I_6 - I_1 = 0$$

Баланс потужностей електричного кола :

$$S_r := U \cdot I_1 \quad S_r = 370.329 + 333.606i$$

$$P := \left(|I_1| \right)^2 \cdot R_1 + \left(|I_2| \right)^2 \cdot R_2 + \left(|I_4| \right)^2 \cdot R_3 + \left(|I_6| \right)^2 \cdot R_4 \quad P = 370.329$$

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

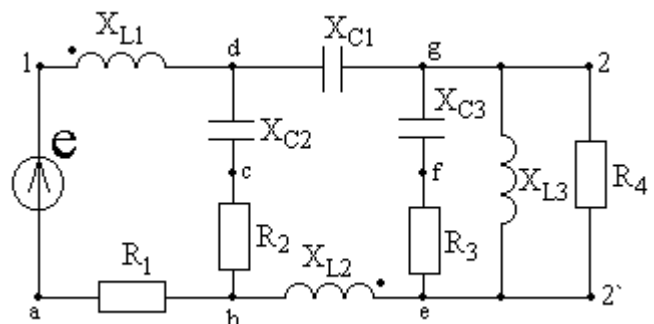
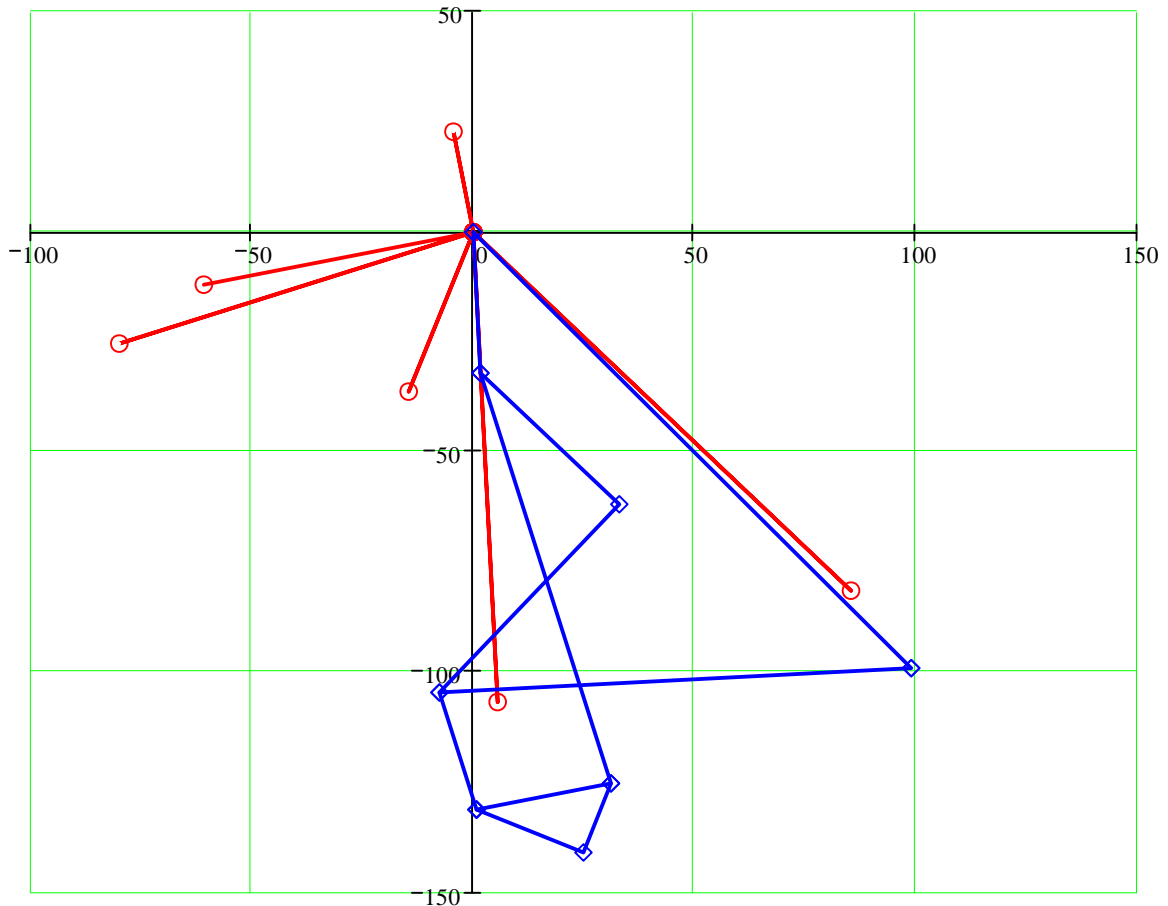
$$Q = 333.606i$$

Будуємо сумісну векторну діаграму струмів та топографічну діаграму напруг

Визначимо потенціали всіх точок позначених на схемі:

$\phi_a := 0$		
$\phi_b := \phi_a + I_1 \cdot R_1$	$\phi_b = 1.669 - 31.999i$	$F(\phi_b) = (32.042 \quad -87.014)$
$\phi_c := \phi_b + I_2 \cdot R_2$	$\phi_c = 33.007 - 61.826i$	$F(\phi_c) = (70.085 \quad -61.904)$
$\phi_d := \phi_c + I_2 \cdot (-X_{C2} \cdot i)$	$\phi_d = -7.667 - 104.559i$	$F(\phi_d) = (104.84 \quad -94.194)$
$\phi_1 := \phi_d + I_1 \cdot X_{L1} \cdot i$	$\phi_1 = 98.995 - 98.995i$	$F(\phi_1) = (140 \quad -45)$
$\phi_{1'} := \phi_1 - U$	$\phi_{1'} = 2.842i \times 10^{-14}$	
$\phi_e := \phi_b + I_3 \cdot X_{L2} \cdot i$	$\phi_e = 31.202 - 125.217i$	$F(\phi_e) = (129.046 \quad -76.008)$
$\phi_f := \phi_e + I_4 \cdot R_3$	$\phi_f = 24.894 - 140.898i$	$F(\phi_f) = (143.08 \quad -79.98)$
$\phi_g := \phi_f + I_4 \cdot (-X_{C3} \cdot i)$	$\phi_g = 0.771 - 131.193i$	$F(\phi_g) = (131.196 \quad -89.663)$
$\phi_d := \phi_g + I_3 \cdot (-X_{C1} \cdot i)$	$\phi_d = -7.667 - 104.559i$	$F(\phi_d) = (104.84 \quad -94.194)$
$\phi_g := \phi_e + I_5 \cdot X_{L3} \cdot i$	$\phi_g = 0.771 - 131.193i$	$F(\phi_g) = (131.196 \quad -89.663)$
$\phi_g := \phi_e + I_6 \cdot R_4$	$\phi_g = 0.771 - 131.193i$	$F(\phi_g) = (131.196 \quad -89.663)$

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.

$$Z_E := \frac{\frac{R_4 \cdot i \cdot X_{L3}}{R_4 + i \cdot X_{L3}} \cdot (R_3 - i \cdot X_{C3})}{R_3 - i \cdot X_{C3} + \frac{R_4 \cdot i \cdot X_{L3}}{R_4 + i \cdot X_{L3}}} + i \cdot (X_{L2} - X_{C1}) \quad Z_E = 11.03 + 23.749i$$

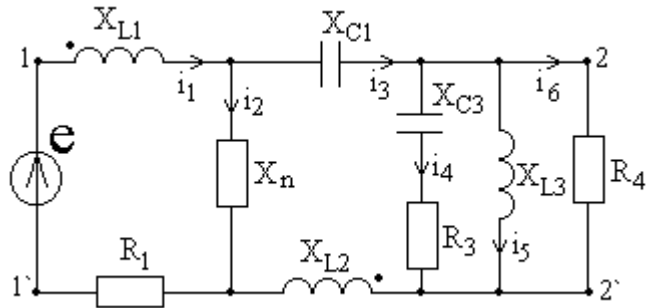
$$Z_E = R_E - j \cdot X_E \quad R_E := \operatorname{Re}(Z_E) \quad R_E = 11.03 \quad X_E := \operatorname{Im}(Z_E) \quad X_E = 23.749$$

За умовою резонансу: $B_{ab} = B_n + B_E \quad B_n = -B_E = \frac{-X_E}{X_E^2 + R_E^2}$

$$B_n := \frac{-X_E}{X_E^2 + R_E^2} \quad B_n = -0.035 \quad \text{Реактивний опір вітки: } X_n := \frac{1}{B_n} \quad X_n = -28.872$$

Розрахувати струми для резонансного стану кола

$$\begin{aligned} Z_1 &:= R_1 + X_{L1} \cdot i & Z_1 &= 9 + 30i \\ Z_3 &:= X_{L2} \cdot i - X_{C1} \cdot i & Z_3 &= 25i \\ Z_4 &:= R_3 - X_{C3} \cdot i & Z_4 &= 13 - 20i \\ Z_5 &:= X_{L3} \cdot i & Z_5 &= 40i \\ Z_6 &:= R_4 & Z_6 &= 15 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} Z_{56} &:= \frac{Z_5 \cdot Z_6}{Z_5 + Z_6} & Z_{56} &= 13.151 + 4.932i & Z_{3456} &:= \frac{Z_{56} \cdot Z_4}{Z_{56} + Z_4} + Z_3 & Z_{3456} &= 11.03 + 23.749i \\ Z_{46} &:= \frac{Z_4 \cdot Z_6}{Z_4 + Z_6} & Z_{46} &= 9.679 - 3.801i & Z_{45} &:= \frac{Z_4 \cdot Z_5}{Z_4 + Z_5} & Z_{45} &= 36.555 - 16.239i \end{aligned}$$

Вхідний опір кола:

$$Z_{VX}(X_N) := \frac{Z_{3456} \cdot i \cdot X_N}{Z_{3456} + i \cdot X_N} + Z_1 \rightarrow \left(\frac{-1579265}{66497} + \frac{733440}{66497} \cdot i \right) \cdot \frac{X_N}{\left(\frac{733440}{66497} + \frac{1579265}{66497} \cdot i + i \cdot X_N \right)} + 9 + 30 \cdot i$$

$$Z_{VX}(X_N) \left| \begin{array}{l} \text{complex} \\ \text{simplify} \\ \text{float, 1} \end{array} \right. \rightarrow \frac{\left(3 \cdot 10^7 \cdot X_N + 1 \cdot 10^6 \cdot X_N^2 + 4 \cdot 10^8 + 1 \cdot 10^8 \cdot i \cdot X_N + 4 \cdot 10^6 \cdot i \cdot X_N^2 + 1 \cdot 10^9 \cdot i \right)}{\left(5 \cdot 10^7 + 3 \cdot 10^6 \cdot X_N + 7 \cdot 10^4 \cdot X_N^2 \right)^1}$$

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

$$X_{VX}(X_N) := \operatorname{Im}(Z_{VX}(X_N)) \left| \begin{array}{l} \text{complex} \\ \text{simplify} \end{array} \right. \rightarrow 25 \cdot \frac{\left(5614085 \cdot X_N + 142967 \cdot X_N^2 + 54715470 \right)}{\left(45596225 + 3158530 \cdot X_N + 66497 \cdot X_N^2 \right)}$$

$$X_N := X_{VX}(X_N) \left| \begin{array}{l} \text{solve, } X_N \\ \text{float, 30} \end{array} \right. \rightarrow \begin{pmatrix} -17.9645342794696240904650733559 \\ -21.3038633227742503700747715035 \end{pmatrix}$$

Отже резонанс кола буде при таких активних опорах у другій вітці: $X_N = \begin{pmatrix} -17.965 \\ -21.304 \end{pmatrix}$

$$X_n := X_{N_0} \quad X_n = -17.965$$

$$Z_{VX}(X_n) = 31.947$$

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

$$I_1 = 3.099 - 3.099i$$

$$F(I_1) = (4.382 \quad -45)$$

$$I_2 := I_1 \cdot \frac{Z_{3456}}{Z_{3456} + i \cdot X_n}$$

$$I_2 = 9.133 - 1.217i$$

$$F(I_2) = (9.214 \quad -7.587)$$

$$I_3 := I_1 - I_2$$

$$I_3 = -6.034 - 1.882i$$

$$F(I_3) = (6.321 \quad -162.676)$$

$$I_4 := I_3 \cdot \frac{Z_{56}}{Z_4 + Z_{56}}$$

$$I_4 = -1.11 - 2.724i$$

$$F(I_4) = (2.941 \quad -112.169)$$

$$I_5 := I_3 \cdot \frac{Z_{46}}{Z_5 + Z_{46}}$$

$$I_5 = -0.33 + 1.723i$$

$$F(I_5) = (1.754 \quad 100.855)$$

$$I_6 := I_3 \cdot \frac{Z_{45}}{Z_6 + Z_{45}}$$

$$I_6 = -4.594 - 0.881i$$

$$F(I_6) = (4.678 \quad -169.145)$$

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

$$S_1 = 613.511$$

$$P := \left(|I_1| \right)^2 \cdot R_1 + \left(|I_4| \right)^2 \cdot R_3 + \left(|I_6| \right)^2 \cdot R_4$$

$$P = 613.511$$

$$Q := \left(|I_1| \right)^2 \cdot X_{L1} + \left(|I_2| \right)^2 \cdot X_n + \left(|I_3| \right)^2 \cdot (X_{L2} - X_{C1}) + \left(|I_4| \right)^2 \cdot (-X_{C3}) + \left(|I_5| \right)^2 \cdot X_{L3} \quad Q = -4.121 \times 10^{-13}$$

$$X_n := X_{N_1} \quad X_n = -21.304$$

$$Z_{VX}(X_n) = 48.22$$

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

$$I_1 = 2.053 - 2.053i$$

$$F(I_1) = (2.903 \quad -45)$$

$$I_2 := I_1 \cdot \frac{Z_{3456}}{Z_{3456} + i \cdot X_n}$$

$$I_2 = 6.67 + 0.889i$$

$$F(I_2) = (6.729 \quad 7.587)$$

$$I_3 := I_1 - I_2$$

$$I_3 = -4.618 - 2.942i$$

$$F(I_3) = (5.475 \quad -147.502)$$

$$I_4 := I_3 \cdot \frac{Z_{56}}{Z_4 + Z_{56}}$$

$$I_4 = -0.31 - 2.529i$$

$$F(I_4) = (2.548 \quad -96.994)$$

$$I_5 := I_3 \cdot \frac{Z_{46}}{Z_5 + Z_{46}}$$

$$I_5 = -0.667 + 1.365i$$

$$F(I_5) = (1.519 \quad 116.03)$$

$$I_6 := I_3 \cdot \frac{Z_{45}}{Z_6 + Z_{45}}$$

$$I_6 = -3.641 - 1.778i$$

$$F(I_6) = (4.052 \quad -153.97)$$

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

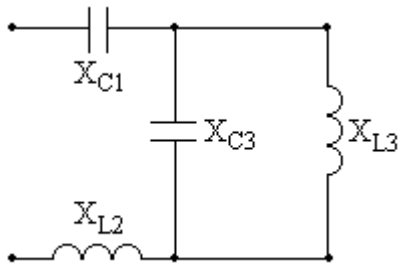
$$S_1 = 406.467$$

$$P := \left(|I_1| \right)^2 \cdot R_1 + \left(|I_4| \right)^2 \cdot R_3 + \left(|I_6| \right)^2 \cdot R_4$$

$$P = 406.467$$

$$Q := \left(|I_1| \right)^2 \cdot X_{L1} + \left(|I_2| \right)^2 \cdot X_n + \left(|I_3| \right)^2 \cdot (X_{L2} - X_{C1}) + \left(|I_4| \right)^2 \cdot (-X_{C3}) + \left(|I_5| \right)^2 \cdot X_{L3} \quad Q = 7.105 \times 10^{-14}$$

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



$$L_2 := \frac{X_{L2}}{\omega} \rightarrow \frac{7}{20 \cdot \pi}$$

$$L_2 = 0.111$$

$$L_3 := \frac{X_{L3}}{\omega} \rightarrow \frac{2}{5 \cdot \pi}$$

$$L_3 = 0.127$$

$$C_1 := \frac{1}{\omega \cdot X_{C1}} \rightarrow \frac{1}{1000 \cdot \pi}$$

$$C_1 = 3.183 \times 10^{-4}$$

$$C_3 := \frac{1}{\omega \cdot X_{C3}} \rightarrow \frac{1}{2000 \cdot \pi}$$

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

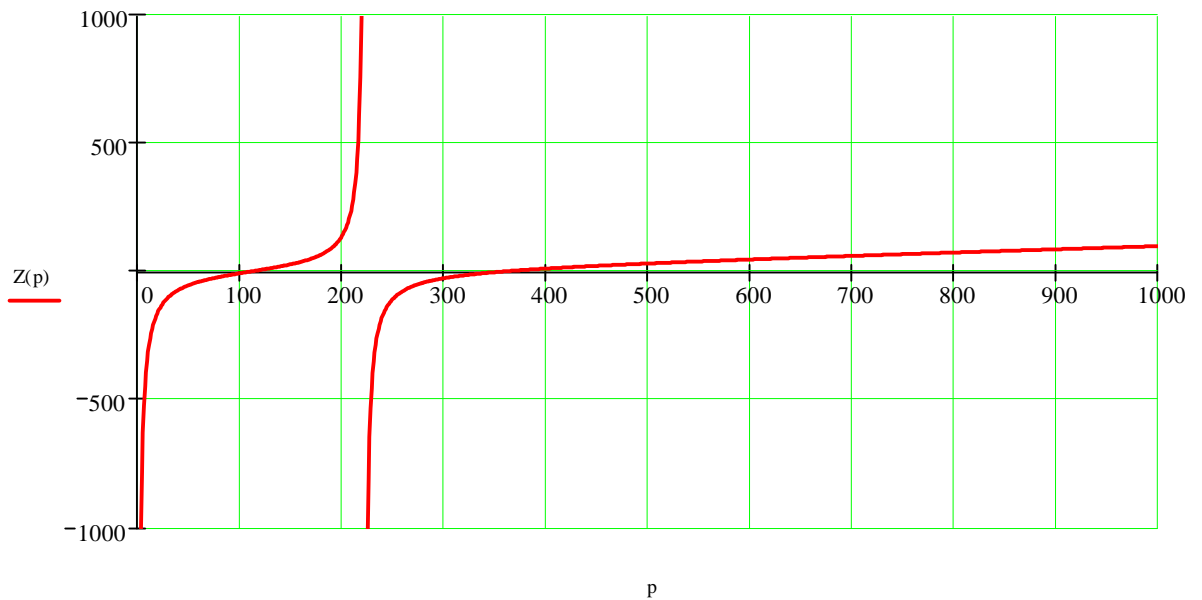
$$Z(p) := \frac{p \cdot L_3 \cdot \frac{-1}{p \cdot C_3}}{p \cdot L_3 - \frac{1}{p \cdot C_3}} + p \cdot L_2 - \frac{1}{p \cdot C_1}$$

Знаходимо нулі: $Z(p) = 0$

$$w_1 := Z(p) \left| \begin{array}{l} \text{solve, } p \\ \text{float, } 3 \end{array} \right. \rightarrow \begin{pmatrix} 350. \\ -350. \\ 106. \\ -106. \end{pmatrix}$$

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

$$w := \frac{1}{Z(p)} \left| \begin{array}{l} \text{solve, } p \\ \text{float, } 10 \end{array} \right. \rightarrow \begin{pmatrix} 222.1441469 \\ -222.1441469 \\ 0 \end{pmatrix}$$



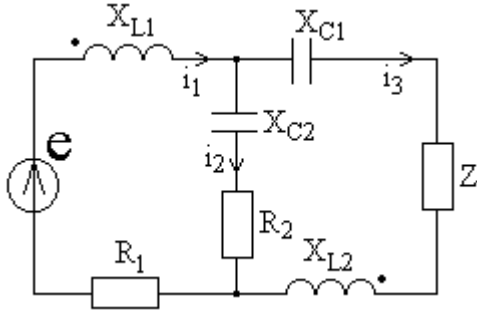
2. ПРИ НАЯВНОСТІ МАГНІТНОГО ЗВ'ЯЗКУ МІЖ ІНДУКТИВНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ L1 ТА L2 (ОДНОЙМЕННІ ПОЧАТКИ ПОЗНАЧЕНІ НА СХЕМІ ТОЧКАМИ):

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

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



$$\begin{aligned} Z_1 &:= R_1 + X_{L1} \cdot i & Z_1 &= 9 + 30i \\ Z_2 &:= R_2 - X_{C2} \cdot i & Z_2 &= 11 - 15i \\ Z_3 &:= X_{L2} \cdot i - X_{C1} \cdot i & Z_3 &= 25i \\ Z_4 &:= R_3 - X_{C3} \cdot i & Z_4 &= 13 - 20i \\ Z_5 &:= X_{L3} \cdot i & Z_5 &= 40i \\ Z_6 &:= R_4 & Z_6 &= 15 \end{aligned}$$

$$Z := \frac{\frac{Z_5 \cdot Z_6}{Z_5 + Z_6} \cdot Z_4}{\frac{Z_5 \cdot Z_6}{Z_5 + Z_6} + Z_4} \quad Z = 11.03 - 1.251i$$

$$\begin{aligned} Z_{11} &:= R_1 + j \cdot X_{L1} + R_2 - j \cdot X_{C2} & Z_{11} &= 20 + 15i \\ Z_{22} &:= Z + R_2 + j \cdot (X_{L2} - X_{C1} - X_{C2}) & Z_{22} &= 22.03 + 8.749i \\ Z_{12} &:= R_2 - j \cdot (X_{C2} + X_M) & Z_{12} &= 11 - 35i \end{aligned}$$

Given

$$I_{K1} \cdot Z_{11} - I_{K2} \cdot Z_{12} = U \quad -I_{K1} \cdot Z_{12} + I_{K2} \cdot Z_{22} = 0$$

$$\begin{pmatrix} I_{K1} \\ I_{K2} \end{pmatrix} := \text{Find}(I_{K1}, I_{K2}) \left| \begin{array}{l} \text{expand} \\ \text{float}, 10 \end{array} \right. \rightarrow \begin{pmatrix} .7255655511 - 1.584947201 \cdot i \\ -2.529038509 - .9397144769 \cdot i \end{pmatrix}$$

$$I_{K1} = 0.726 - 1.585i \quad I_{K2} = -2.529 - 0.94i$$

$$\begin{aligned} I_1 &:= I_{K1} & I_1 &= 0.726 - 1.585i & F(I_1) &= (1.743 \quad -65.402) \\ I_2 &:= I_{K1} - I_{K2} & I_2 &= 3.255 - 0.645i & F(I_2) &= (3.318 \quad -11.214) \\ I_3 &:= I_{K2} & I_3 &= -2.529 - 0.94i & F(I_3) &= (2.698 \quad -159.616) \\ I_4 &:= \frac{I_3 \cdot Z}{Z_4} & I_4 &= -0.411 - 1.186i & F(I_4) &= (1.256 \quad -109.109) \\ I_5 &:= \frac{I_3 \cdot Z}{Z_5} & I_5 &= -0.18 + 0.727i & F(I_5) &= (0.749 \quad 103.915) \\ I_6 &:= \frac{I_3 \cdot Z}{Z_6} & I_6 &= -1.938 - 0.48i & F(I_6) &= (1.997 \quad -166.085) \end{aligned}$$

Перевірка за першим законом Кіргофа:

$$\begin{aligned} I_1 - I_2 - I_3 &= 0 & I_3 - I_4 - I_5 - I_6 &= 0 & I_2 + I_4 + I_5 + I_6 - I_1 &= 0 \\ S_{M1} &:= \overline{I_1} \cdot I_3 \cdot X_M & S_{M1} &= -6.912 - 93.804i & F(S_{M1}) &= (94.059 \quad -94.214) \\ S_{M2} &:= \overline{I_1} \cdot I_3 \cdot X_M & S_{M2} &= -6.912 + 93.804i & F(S_{M2}) &= (94.059 \quad 94.214) \end{aligned}$$

Баланс потужностей електричного кола :

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

$$S = 228.729 + 85.074i$$

$$P := \left(|I_1| \right)^2 \cdot R_1 + \left(|I_2| \right)^2 \cdot R_2 + \left(|I_4| \right)^2 \cdot R_3 + \left(|I_6| \right)^2 \cdot R_4$$

$$P = 228.729$$

$$Q := \left(|I_1| \right)^2 \cdot X_{L1} + \left(|I_2| \right)^2 \cdot (-X_{C2}) + \left(|I_3| \right)^2 \cdot (X_{L2} - X_{C1}) + \left(|I_4| \right)^2 \cdot (-X_{C3}) + \left(|I_5| \right)^2 \cdot X_{L3} + S_{M1} + S_{M2}$$

$$Q = 85.074$$

Суміщена векторна діаграма струмів і топографічна діаграма напруг:

$$\phi_a := 0$$

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

$$F(\phi_b) = (15.688 \quad -65.402)$$

$$\phi_b = 6.53 - 14.265i$$

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

$$F(\phi_c) = (47.416 \quad -26.778)$$

$$\phi_c = 42.331 - 21.362i$$

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

$$F(\phi_d) = (77.405 \quad -65.049)$$

$$\phi_d = 32.652 - 70.181i$$

$$\phi_{I'} := \phi_d + I_3 \cdot X_M \cdot i$$

$$F(\phi_d) = (77.405 \quad -65.049)$$

$$\phi_d = 32.652 - 70.181i$$

$$\phi_I := \phi_{I'} + I_1 \cdot X_{L1} \cdot i$$

$$F(\phi_I) = (140 \quad -45)$$

$$\phi_I = 98.995 - 98.995i$$

$$\phi_A := \phi_I - U$$

$$F(\phi_A) = (5.818 \times 10^{-8} \quad 131.586)$$

$$\phi_A = -3.862 \times 10^{-8} + 4.352i \times 10^{-8}$$

$$\phi_{e'} := \phi_b + I_3 \cdot X_{L2} \cdot i$$

$$F(\phi_{e'}) = (110.081 \quad -69.016)$$

$$\phi_{e'} = 39.42 - 102.781i$$

$$\phi_e := \phi_{e'} + I_1 \cdot X_M \cdot i$$

$$F(\phi_e) = (113.355 \quad -51.142)$$

$$\phi_e = 71.119 - 88.27i$$

$$\phi_f := \phi_e + I_4 \cdot R_3$$

$$F(\phi_f) = (122.794 \quad -57.611)$$

$$\phi_f = 65.776 - 103.692i$$

$$\phi_g := \phi_f + I_4 \cdot (-X_{C3} \cdot i)$$

$$F(\phi_g) = (104.321 \quad -66.229)$$

$$\phi_g = 42.049 - 95.472i$$

$$\phi_d := \phi_g + I_3 \cdot (-X_{C1} \cdot i)$$

$$F(\phi_d) = (77.405 \quad -65.049)$$

$$\phi_d = 32.652 - 70.181i$$

$$\phi_g := \phi_e + I_5 \cdot X_{L3} \cdot i$$

$$F(\phi_g) = (104.321 \quad -66.229)$$

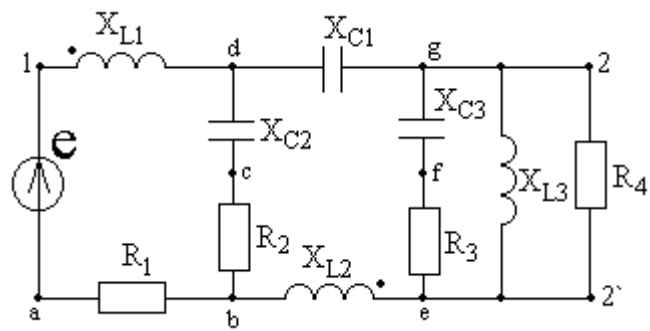
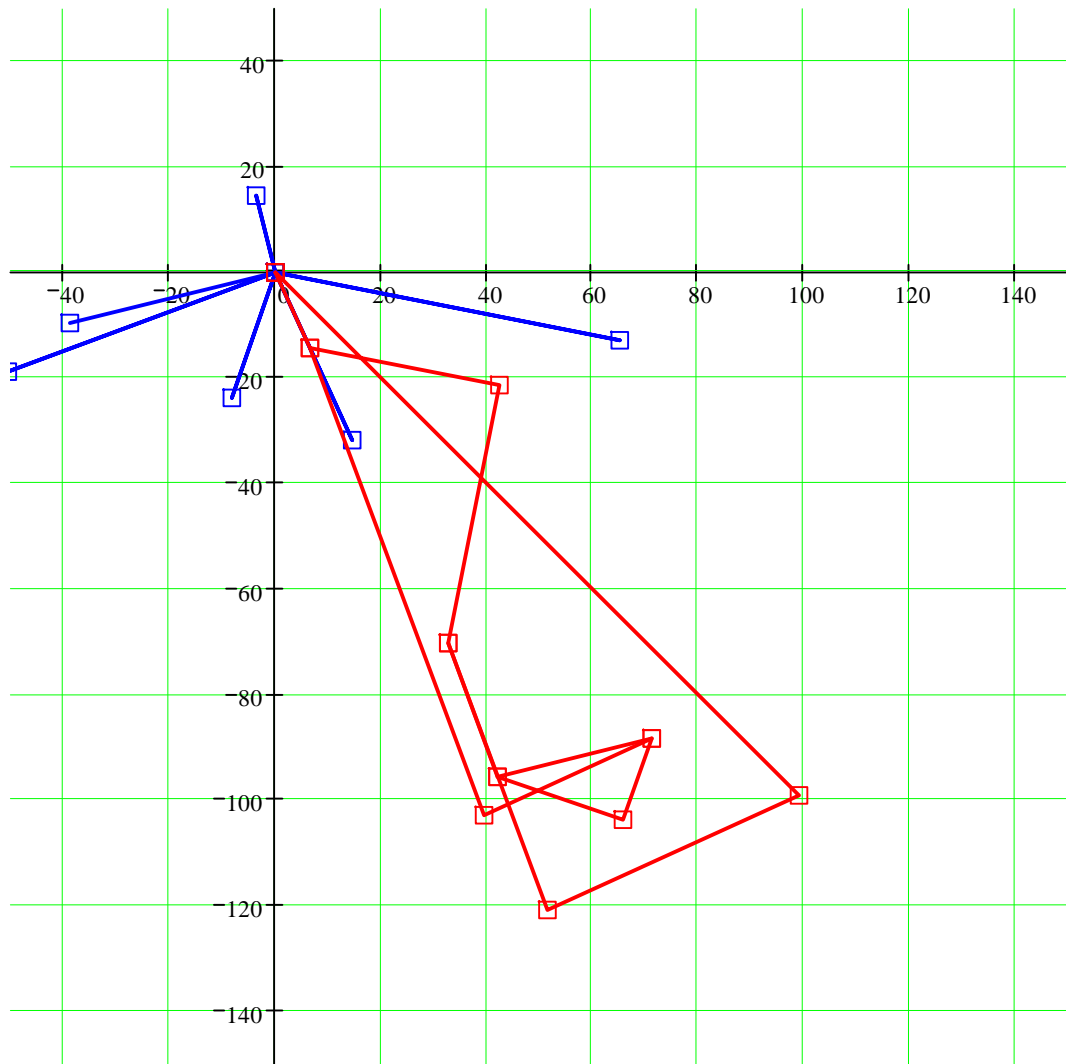
$$\phi_g = 42.049 - 95.472i$$

$$\phi_g := \phi_e + I_6 \cdot R_4$$

$$F(\phi_g) = (104.321 \quad -66.229)$$

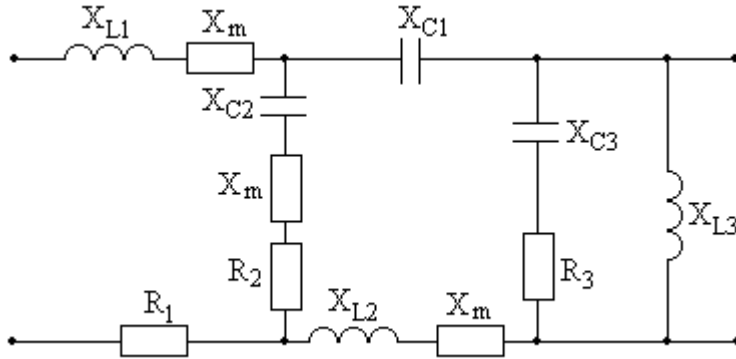
$$\phi_g = 42.049 - 95.472i$$

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" :

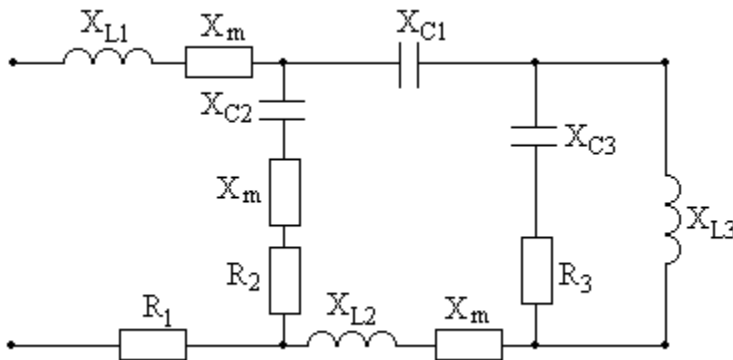
1) Розрахувати коефіцієнти чотириполюсника **A,B,C,D**



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

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

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



$$Z_1 := R_1 + i \cdot X_{L1} + i \cdot X_M \rightarrow 9 + 50 \cdot i \quad Z_3 := \frac{i \cdot X_{L3} \cdot (R_3 - i \cdot X_{C3})}{R_3 - i \cdot X_{C3} + i \cdot X_{L3}} \quad Z_3 = 36.555 - 16.239i$$

$$Z_2 := R_2 - i \cdot (X_{C2} + X_M) \rightarrow 11 - 35 \cdot i$$

$$Z_{10} := \frac{[Z_3 + i \cdot (X_{L2} + X_M - X_{C1})] \cdot Z_2}{Z_2 + Z_3 + i \cdot (X_{L2} + X_M - X_{C1})} + R_1 + i \cdot (X_{L1} + X_M) \quad Z_{10} = 40.734 + 33.912i$$

$$Z_{20} := \frac{Z_1 \cdot Z_2}{Z_2 + Z_1} + Z_3 + i \cdot (X_{L2} + X_M - X_{C1}) \quad Z_{20} = 101.363 - 8.095i$$

$$I_{10} := \frac{U_{10}}{Z_{10}} \quad I_{10} = 0.24 - 2.63i \quad F(I_{10}) = (2.641 \quad -84.778)$$

$$I_{30} := I_{10} \cdot \frac{Z_2}{[Z_2 + Z_3 + i \cdot (X_{L2} + X_M - X_{C1})]} \quad F(I_{30}) = (2.02 \quad -149.857)$$

$$U_{20} := I_{30} \cdot Z_3 \quad U_{20} = -80.347 - 8.716i \quad F(U_{20}) = (80.818 \quad -173.809)$$

$$A := \frac{U_{10}}{U_{20}} \quad A = -1.086 + 1.35i \quad F(A) = (1.732 \quad 128.809)$$

$$C := \frac{I_{10}}{U_{20}} \quad C = 5.528 \times 10^{-4} + 0.033i \quad F(C) = (0.033 \quad 89.031)$$

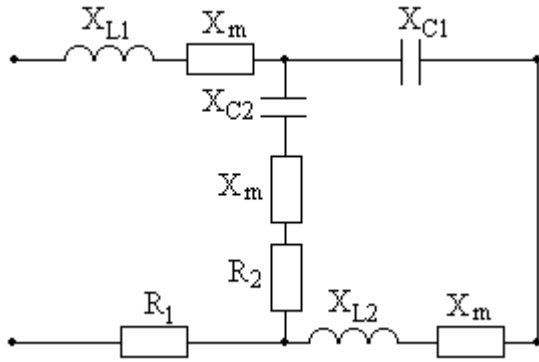
Коротке замикання:

$$U_2 = 0$$

$$U_K := U$$

$$U_1 = B \cdot I_2$$

$$I_1 = D \cdot I_2$$



$$Z_1 := R_1 + i \cdot X_{L1} + i \cdot X_M \rightarrow 9 + 50 \cdot i$$

$$Z_2 := R_2 - i \cdot (X_{C2} + X_M) \rightarrow 11 - 35 \cdot i$$

$$Z_3 := i \cdot (X_{L2} + X_M - X_{C1}) \rightarrow 45 \cdot i$$

$$Z_K := \frac{Z_2 \cdot Z_3}{Z_2 + Z_3} + Z_1 \quad Z_K = 109.792 + 3.371i$$

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

$$I_{1K} = 0.873 - 0.928i$$

$$F(I_{1K}) = (1.275 \quad -46.759)$$

$$I_{3K} := I_{1K} \cdot \frac{Z_2}{Z_2 + Z_3}$$

$$I_{3K} = -2.984 - 0.994i$$

$$F(I_{3K}) = (3.145 \quad -161.585)$$

$$B := \frac{U_K}{I_{3K}}$$

$$B = -19.919 + 39.803i$$

$$F(B) = (44.509 \quad 116.585)$$

$$D := \frac{I_{1K}}{I_{3K}}$$

$$D = -0.17 + 0.368i$$

$$F(D) = (0.405 \quad 114.827)$$

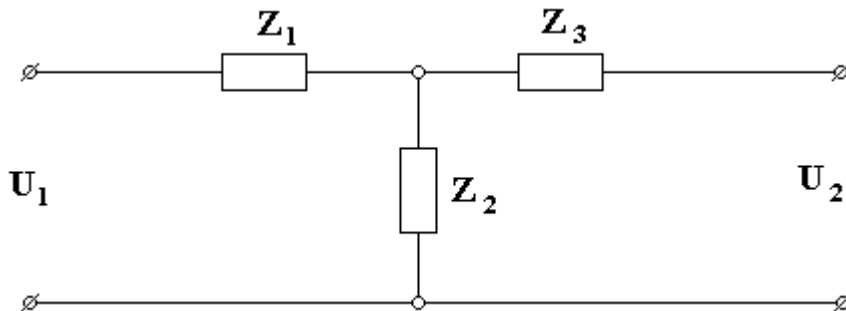
Перевірка

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

$$F(A) = (1.732 \quad 128.809) \quad F(B) = (44.509 \quad 116.585)$$

$$F(C) = (0.033 \quad 89.031) \quad F(D) = (0.405 \quad 114.827)$$

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



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

$$Z_1 = 40.216 + 64.504i$$

$$F(Z_1) = (76.014 \quad 58.058)$$

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

$$Z_2 = 11 - 35i$$

$$F(Z_2) = (36.688 \quad -72.553)$$

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

$$Z_3 = 10.645 + 35.988i$$

$$F(Z_3) = (37.529 \quad 73.522)$$

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

$$R_1 = 40.216$$

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

$$X_1 = 64.504$$

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

$$R_2 = 0.518$$

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

$$X_2 = -30.593$$

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

$$R_3 = 10.645$$

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

$$X_3 = 35.988$$

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

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

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

$$L_1 = 0.205$$

$$C = 1.04 \times 10^{-4}$$

$$L_2 = 0.115$$