

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

Розрахунково-графічна робота
“Розрахунок однофазного кола синусоїдного струму”
Варіант № 731

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.

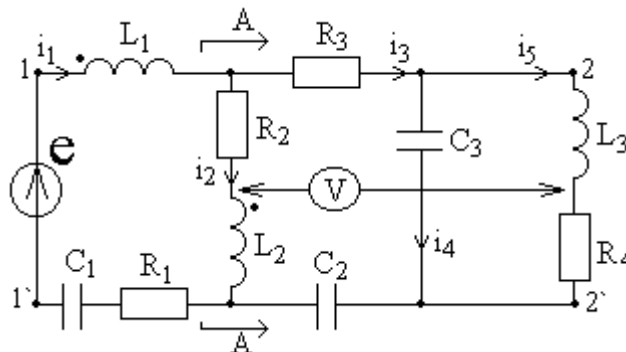
$$E := 220 \quad \psi := 50 \quad R_1 := 16 \quad R_2 := 14 \quad R_3 := 12 \quad R_4 := 10 \quad X_{L1} := 40 \quad X_{L2} := 45 \quad X_{L3} := 50$$

$$X_{C1} := 20 \quad X_{C2} := 25 \quad X_{C3} := 30 \quad X_M := 25 \quad f := 50$$

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

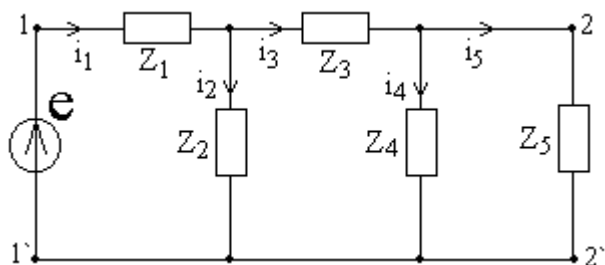
$$U = 141.413 + 168.53i$$

$$F(U) = (220 \ 50)$$



Символічний метод

$$\begin{aligned} Z_1 &:= R_1 + X_{L1} \cdot i - X_{C1} \cdot i & Z_1 &= 16 + 20i \\ Z_2 &:= R_2 + X_{L2} \cdot i & Z_2 &= 14 + 45i \\ Z_3 &:= R_3 - X_{C2} \cdot i & Z_3 &= 12 - 25i \\ Z_4 &:= -X_{C3} \cdot i & Z_4 &= -30i \\ Z_5 &:= R_4 + X_{L3} \cdot i & Z_5 &= 10 + 50i \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} Z_{345} &:= \frac{Z_5 \cdot Z_4}{Z_5 + Z_4} + Z_3 & Z_{345} &= 30 - 91i \\ Z_E &:= \frac{Z_2 \cdot Z_{345}}{Z_2 + Z_{345}} + Z_1 & Z_E &= 64.165 + 72.081i \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_1 &:= \frac{U}{Z_E} & I_1 &= 2.279 + 0.067i & F(I_1) &= (2.28 \quad 1.675) \\ I_2 &:= I_1 \cdot \frac{Z_{345}}{Z_{345} + Z_2} & I_2 &= 3.14 - 1.385i & F(I_2) &= (3.432 \quad -23.807) \\ I_3 &:= I_1 - I_2 & I_3 &= -0.861 + 1.452i & F(I_3) &= (1.688 \quad 120.666) \\ I_4 &:= I_3 \cdot \frac{Z_5}{Z_4 + Z_5} & I_4 &= -2.765 + 2.677i & F(I_4) &= (3.849 \quad 135.921) \\ I_5 &:= I_3 - I_4 & I_5 &= 1.904 - 1.226i & F(I_5) &= (2.264 \quad -32.769) \end{aligned}$$

Перевірка за першим законом Кіргофа:

$$I_1 - I_2 - I_3 = 0 \quad I_3 - I_4 - I_5 = 0 \quad I_2 + I_4 + I_5 - I_1 = 0$$

Баланс потужностей електричного кола :

$$\begin{aligned} S_r &:= U \cdot I_1 & S_r &= 333.472 + 374.615i \\ P &:= (|I_1|)^2 \cdot R_1 + (|I_2|)^2 \cdot R_2 + (|I_3|)^2 \cdot R_3 + (|I_5|)^2 \cdot R_4 & P &= 333.472 \\ Q &:= (|I_1|)^2 \cdot (X_{L1} \cdot i - X_{C1} \cdot i) + (|I_2|)^2 \cdot X_{L2} \cdot i + (|I_3|)^2 \cdot (-X_{C2} \cdot i) + (|I_4|)^2 \cdot (-X_{C3} \cdot i) + (|I_5|)^2 \cdot X_{L3} \cdot i \\ & & Q &= 374.615i \end{aligned}$$

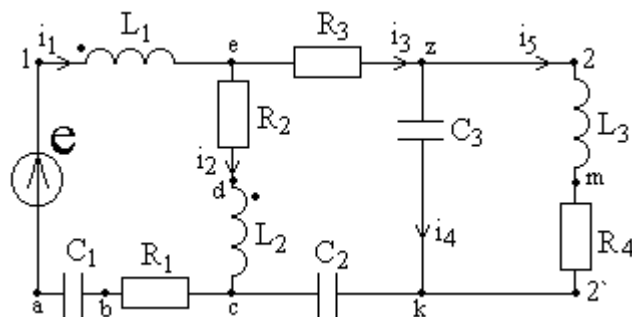
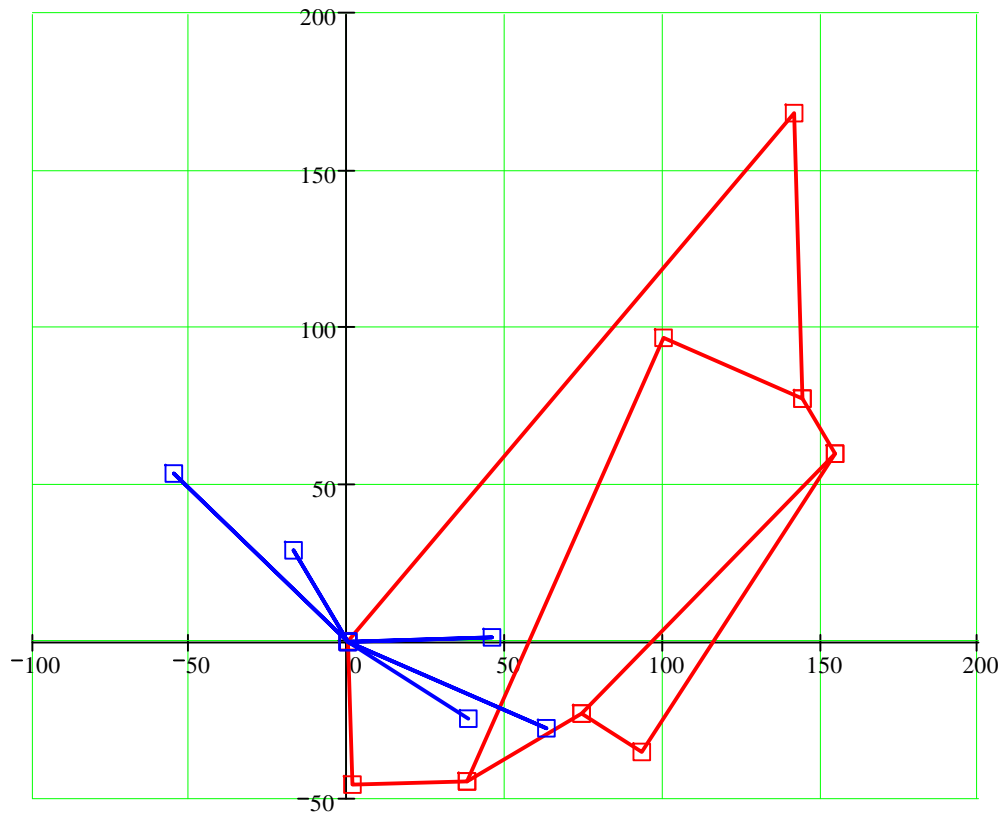
$$\begin{aligned} \text{Знаходимо покази вольтметра: } V &:= |-I_2 \cdot R_2 + I_3 \cdot R_3 + I_5 \cdot i \cdot X_{L3}| & V &= 132.202 \\ V &:= |I_2 \cdot i \cdot X_{L2} - I_3 \cdot (-j \cdot X_{C2}) - I_5 \cdot R_4| & V &= 132.202 \end{aligned}$$

Будуємо сумісну векторну діаграму струмів та топографічну діаграму напруг

Визначимо потенціали всіх точок позначених на схемі:

$$\begin{aligned} \phi_a &:= 0 & \phi_b &= 1.332 - 45.575i & F(\phi_b) &= (45.594 \quad -88.325) \\ \phi_b &:= \phi_a + I_1 \cdot (-X_{C1} \cdot i) & \phi_c &= 37.792 - 44.509i & F(\phi_c) &= (58.389 \quad -49.666) \\ \phi_c &:= \phi_b + I_1 \cdot R_1 & \phi_d &= 100.124 + 96.772i & F(\phi_d) &= (139.247 \quad 44.025) \\ \phi_d &:= \phi_c + I_2 \cdot X_{L2} \cdot i & \phi_e &= 144.078 + 77.38i & F(\phi_e) &= (163.543 \quad 28.239) \\ \phi_e &:= \phi_d + I_2 \cdot R_2 & \phi_1 &= 141.413 + 168.53i & F(\phi_1) &= (220 \quad 50) \\ \phi_1 &:= \phi_e + I_1 \cdot X_{L1} \cdot i & \phi_A &= 2.842 \times 10^{-14} + 2.842i \times 10^{-14} & F(\phi_A) &= (4.019 \times 10^{-14} \quad 45) \\ \phi_A &:= \phi_1 - U & \phi_k &= 74.086 - 22.988i & F(\phi_k) &= (77.571 \quad -17.238) \\ \phi_k &:= \phi_c + I_3 \cdot (-X_{C2} \cdot i) & \phi_z &= 154.408 + 59.959i & F(\phi_z) &= (165.641 \quad 21.222) \\ \phi_z &:= \phi_k + I_4 \cdot (-X_{C3} \cdot i) & \phi_m &= 93.127 - 35.244i & F(\phi_m) &= (99.573 \quad -20.729) \\ \phi_m &:= \phi_k + I_5 \cdot R_4 \end{aligned}$$

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.

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

$$Z_3 = -25i$$

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

$$Z_4 = 12 + 50i$$

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

$$Z_5 = 10 - 30i$$

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

$$Z_E = 43.484 - 58.167i$$

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

$$R_E = 43.484$$

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

$$X_E = -58.167$$

Умова резонансу струмів на ділянці "ab" :

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

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

$$B_2 = 0.011$$

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

$$X_2 = 90.675$$

Додатний знак свідчить про індуктивний характер опору

Розрахувати струми для резонансного стану кола;

$$Z_1 := R_1 + X_{L1} \cdot i - X_{C1} \cdot i \quad Z_1 = 16 + 20i$$

$$Z_3 := R_3 - X_{C2} \cdot i \quad Z_3 = 12 - 25i$$

$$Z_4 := -X_{C3} \cdot i \quad Z_4 = -30i$$

$$Z_5 := R_4 + X_{L3} \cdot i \quad Z_5 = 10 + 50i$$

$$Z_{345} := \frac{Z_5 \cdot Z_4}{Z_5 + Z_4} + Z_3 \quad Z_{345} = 30 - 91i$$

Вхідний опір кола:

$$Z_{VX}(X_N) := \frac{Z_{345} \cdot i \cdot X_N}{Z_{345} + i \cdot X_N} + Z_1 \rightarrow (91 + 30 \cdot i) \cdot \frac{X_N}{(30 - 91 \cdot i + i \cdot X_N)} + 16 + 20 \cdot i$$

$$Z_{VX}(X_N) \left| \begin{array}{l} \text{complex} \\ \text{simplify} \end{array} \right. \rightarrow \frac{-\left(2912 \cdot X_N - 46 \cdot X_N^2 - 146896 - 5541 \cdot i \cdot X_N + 71 \cdot i \cdot X_N^2 - 183620 \cdot i\right)}{(9181 - 182 \cdot X_N + X_N^2)}$$

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

$$X_{VX}(X_N) := \text{Im}(Z_{VX}(X_N)) \left| \begin{array}{l} \text{complex} \\ \text{simplify} \end{array} \right. \rightarrow \frac{-\left(-5541 \cdot X_N + 71 \cdot X_N^2 - 183620\right)}{(9181 - 182 \cdot X_N + X_N^2)}$$

Нулі функції (уявної частини вхідного опору) дорівнюють:

$$X_N := X_{VX}(X_N) \left| \begin{array}{l} \text{solve, } X_N \\ \text{float, 50} \end{array} \right. \rightarrow \left(\begin{array}{l} 103.12140380179423262237456445844491661402627208824 \\ -25.079150280667472058994282768304071543603736876972 \end{array} \right)$$

Отже резонанс кола неможливий при будь-яких опорах у другій вітці, так як: $X_N = \left(\begin{array}{l} 103.121 \\ -25.079 \end{array} \right)$

$$X_n := X_{N0} \quad X_n = 103.121 \quad Z_{VX}(X_n) = 320.721$$

$$I_1 := \frac{U}{Z_{VX}(X_n)} \quad I_1 = 0.441 + 0.525i \quad F(I_1) = (0.686 \quad 50)$$

$$I_2 := I_1 \cdot \frac{Z_{345}}{Z_{345} + i \cdot X_n} \quad I_2 = 1.467 - 1.405i \quad F(I_2) = (2.031 \quad -43.755)$$

$$I_3 := I_1 - I_2 \quad I_3 = -1.026 + 1.93i \quad F(I_3) = (2.186 \quad 117.999)$$

$$I_4 := I_3 \cdot \frac{Z_5}{Z_4 + Z_5} \quad I_4 = -3.416 + 3.631i \quad F(I_4) = (4.985 \quad 133.254)$$

$$I_5 := I_3 - I_4 \quad I_5 = 2.39 - 1.701i \quad F(I_5) = (2.933 \quad -35.436)$$

$$S_1 := U \cdot \overline{I_1} \quad S_1 = 150.91$$

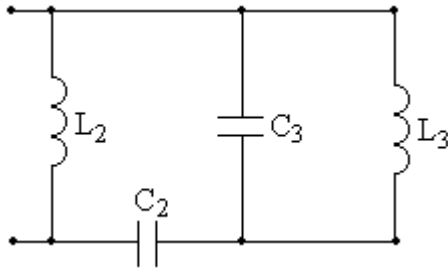
$$P := (|I_1|)^2 \cdot R_1 + (|I_3|)^2 \cdot R_3 + (|I_5|)^2 \cdot R_4 \quad P = 150.91$$

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

При	$X_n := X_{N_1}$	$X_n = -25.079$	$Z_{VX}(X_n) = 17.313$
$I_1 := \frac{U}{Z_{VX}(X_n)}$		$I_1 = 8.168 + 9.734i$	$F(I_1) = (12.707 \ 50)$
$I_2 := I_1 \cdot \frac{Z_{345}}{Z_{345} + i \cdot X_n}$		$I_2 = 6.004 + 8.191i$	$F(I_2) = (10.156 \ 53.755)$
$I_3 := I_1 - I_2$		$I_3 = 2.164 + 1.544i$	$F(I_3) = (2.658 \ 35.509)$
$I_4 := I_3 \cdot \frac{Z_5}{Z_4 + Z_5}$		$I_4 = 3.834 + 4.695i$	$F(I_4) = (6.061 \ 50.764)$
$I_5 := I_3 - I_4$		$I_5 = -1.67 - 3.151i$	$F(I_5) = (3.566 \ -117.926)$
$S_1 := U \cdot \overline{I_1}$		$S_1 = 2.796 \times 10^3$	
$P := \left(I_1 \right)^2 \cdot R_1 + \left(I_3 \right)^2 \cdot R_3 + \left(I_5 \right)^2 \cdot R_4$		$P = 2.796 \times 10^3$	
$Q := \left(I_1 \right)^2 \cdot (X_{L1} - X_{C1}) + \left(I_2 \right)^2 \cdot X_n + \left(I_3 \right)^2 \cdot (-X_{C2}) + \left(I_4 \right)^2 \cdot (-X_{C3}) + \left(I_5 \right)^2 \cdot X_{L3}$			$Q = -2.274 \times 10^{-13}$

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

закоротити



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

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

$$L_3 = 0.159$$

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

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

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

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

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

$$L_2 = 0.143$$

Знаходимо нулі: $Z(p) = 0$

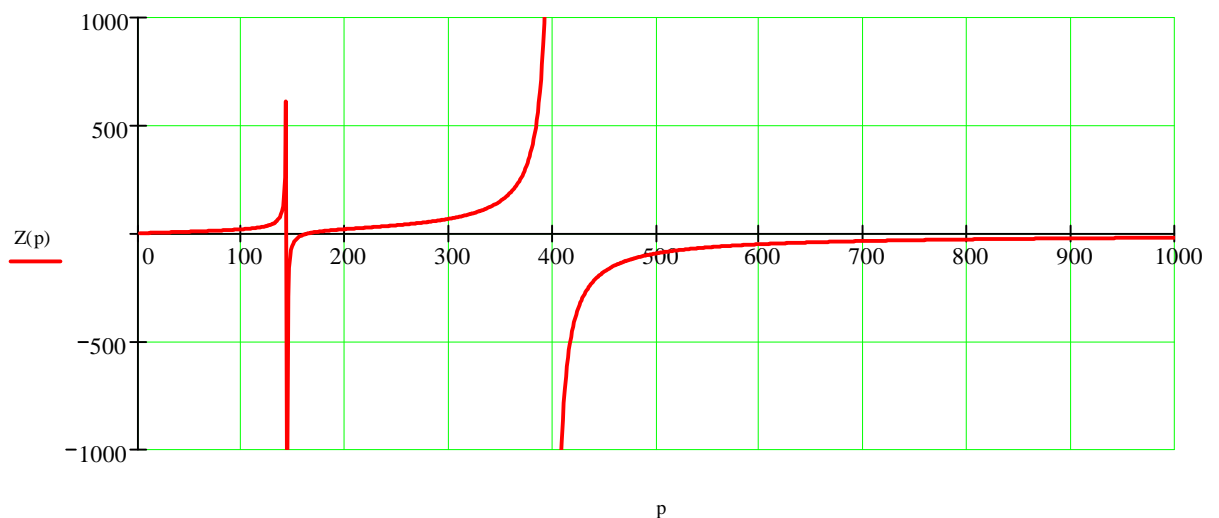
$$w_1 := Z(p) \left| \begin{array}{l} \text{solve, } p \\ \text{float, } 3 \end{array} \right. \rightarrow \begin{pmatrix} 0 \\ 164. \\ -164. \end{pmatrix}$$

$$w_1 := \begin{pmatrix} w_{10} \\ w_{11} \end{pmatrix} \quad w_1 = \begin{pmatrix} 0 \\ 164 \end{pmatrix}$$

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

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

$$w := \begin{pmatrix} w_0 \\ w_2 \end{pmatrix} \quad w = \begin{pmatrix} 399.359 \\ 142.684 \end{pmatrix}$$



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

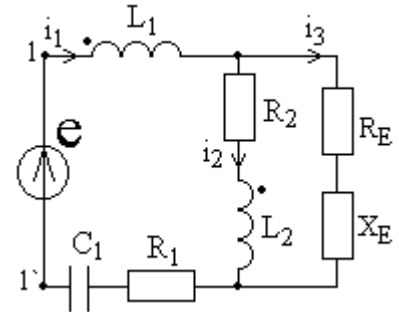
2.1. Перетворивши схему до двох незалежних контурів, розрахувати струми у всіх вітках схеми методом контурних струмів, визначити покази вольметра;

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

$$\begin{aligned} Z_3 &:= R_3 - X_{C2} \cdot i & Z_3 &= 12 - 25i \\ Z_4 &:= -X_{C3} \cdot i & Z_4 &= -30i \\ Z_5 &:= R_4 + X_{L3} \cdot i & Z_5 &= 10 + 50i \\ Z_{345} &:= \frac{Z_5 \cdot Z_4}{Z_5 + Z_4} + Z_3 & Z_{345} &= 30 - 91i \end{aligned}$$



$$R_E := \operatorname{Re}(Z_{345}) \quad R_E = 30 \quad X_E := \operatorname{Im}(Z_{345}) \quad X_E = -91$$

Знайдемо контурні та міжконтурні опори схеми:

$$\begin{aligned} Z_{11} &:= R_1 + R_2 + X_{L2} \cdot i + X_{L1} \cdot i - X_{C1} \cdot i + 2 \cdot X_M \cdot i & Z_{11} &= 30 + 115i \\ Z_{22} &:= R_E + X_E \cdot i + X_{L2} \cdot i + R_2 & Z_{22} &= 44 - 46i \\ Z_{12} &:= R_2 + X_{L2} \cdot i + X_M \cdot i & Z_{21} &:= Z_{12} & Z_{12} &= 14 + 70i \\ U &= 141.413 + 168.53i & F(U) &= (220 \ 50) \end{aligned}$$

Given

$$\begin{aligned} I_1 \cdot (Z_{11}) - I_3 \cdot (Z_{12}) &= U \\ -I_1 \cdot (Z_{21}) + I_3 \cdot (Z_{22}) &= 0 \\ \begin{pmatrix} I_1 \\ I_3 \end{pmatrix} &:= \operatorname{Find}(I_1, I_3) & I_2 &:= I_1 - I_3 & I_1 &= 1.219 - 0.105i & F(I_1) &= (1.224 \ -4.917) \\ & & I_2 &= 1.906 - 1.293i & I_2 &= 1.906 - 1.293i & F(I_2) &= (2.303 \ -34.144) \\ & & I_3 &= -0.687 + 1.188i & I_3 &= -0.687 + 1.188i & F(I_3) &= (1.372 \ 120.046) \\ I_4 &:= I_3 \cdot \frac{Z_5}{Z_4 + Z_5} & I_4 &= -2.224 + 2.201i & I_4 &= -2.224 + 2.201i & F(I_4) &= (3.129 \ 135.301) \\ I_5 &:= I_3 - I_4 & I_5 &= 1.537 - 1.013i & I_5 &= 1.537 - 1.013i & F(I_5) &= (1.841 \ -33.389) \end{aligned}$$

Баланс потужностей електричного кола :

$$\begin{aligned} S_r &:= U \cdot \overline{I_1} & S_r &= 154.735 + 220.306i \\ P_r &:= \operatorname{Re}(S_r) & P_r &= 154.735 & Q_r &:= \operatorname{Im}(S_r) & Q_r &= 220.306 \\ S_{M1} &:= \overline{I_1} \cdot I_2 \cdot X_M \cdot i & S_{M1} &= 34.406 + 61.496i & F(S_{M1}) &= (70.466 \ 60.773) \\ S_{M2} &:= \overline{I_2} \cdot I_1 \cdot X_M \cdot i & S_{M2} &= -34.406 + 61.496i & F(S_{M2}) &= (70.466 \ 119.227) \\ S_{KC} &:= (|I_1|)^2 \cdot (X_{L1} \cdot i + R_1 - X_{C1} \cdot i) + (|I_2|)^2 \cdot (R_2 + X_{L2} \cdot i) + (|I_3|)^2 \cdot (R_E + X_E \cdot i) + S_{M1} + S_{M2} \\ S_{KC} &= 154.735 + 220.306i \end{aligned}$$

Знаходимо покази вольметра:

$$\begin{aligned} V &:= \left| -I_2 \cdot (R_2 + X_M \cdot i) + I_3 \cdot (R_3 - X_{C2} \cdot i) + I_5 \cdot (X_{L3} \cdot i) \right| & V &= 79.822 \\ V &:= \left| I_2 \cdot i \cdot (X_{L2}) - I_3 \cdot [-i \cdot (X_{C2})] - I_5 \cdot (R_4) \right| & V &= 79.822 \end{aligned}$$

Визначимо потенціали всіх точок позначених на схемі:

$$\phi_a := 0$$

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

$$\phi_b = -2.098 - 24.384i$$

$$F(\phi_b) = (24.474 \quad -94.917)$$

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

$$\phi_c = 17.41 - 26.062i$$

$$F(\phi_c) = (31.342 \quad -56.257)$$

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

$$\phi_{d'} = 75.586 + 59.722i$$

$$F(\phi_{d'}) = (96.333 \quad 38.313)$$

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

$$\phi_d = 78.209 + 90.203i$$

$$F(\phi_d) = (119.386 \quad 49.074)$$

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

$$\phi_e = 104.897 + 72.103i$$

$$F(\phi_e) = (127.288 \quad 34.503)$$

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

$$\phi_{1'} = 109.093 + 120.872i$$

$$F(\phi_{1'}) = (162.823 \quad 47.932)$$

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

$$\phi_1 = 141.413 + 168.53i$$

$$F(\phi_1) = (220 \quad 50)$$

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

$$\phi_A = -2.842i \times 10^{-14}$$

$$F(\phi_A) = (2.842 \times 10^{-14} \quad -90)$$

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

$$\phi_k = 47.108 - 8.884i$$

$$F(\phi_k) = (47.938 \quad -10.68)$$

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

$$\phi_z = 113.143 + 57.848i$$

$$F(\phi_z) = (127.073 \quad 27.08)$$

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

$$\phi_e = 104.897 + 72.103i$$

$$F(\phi_e) = (127.288 \quad 34.503)$$

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

$$\phi_m = 62.481 - 19.017i$$

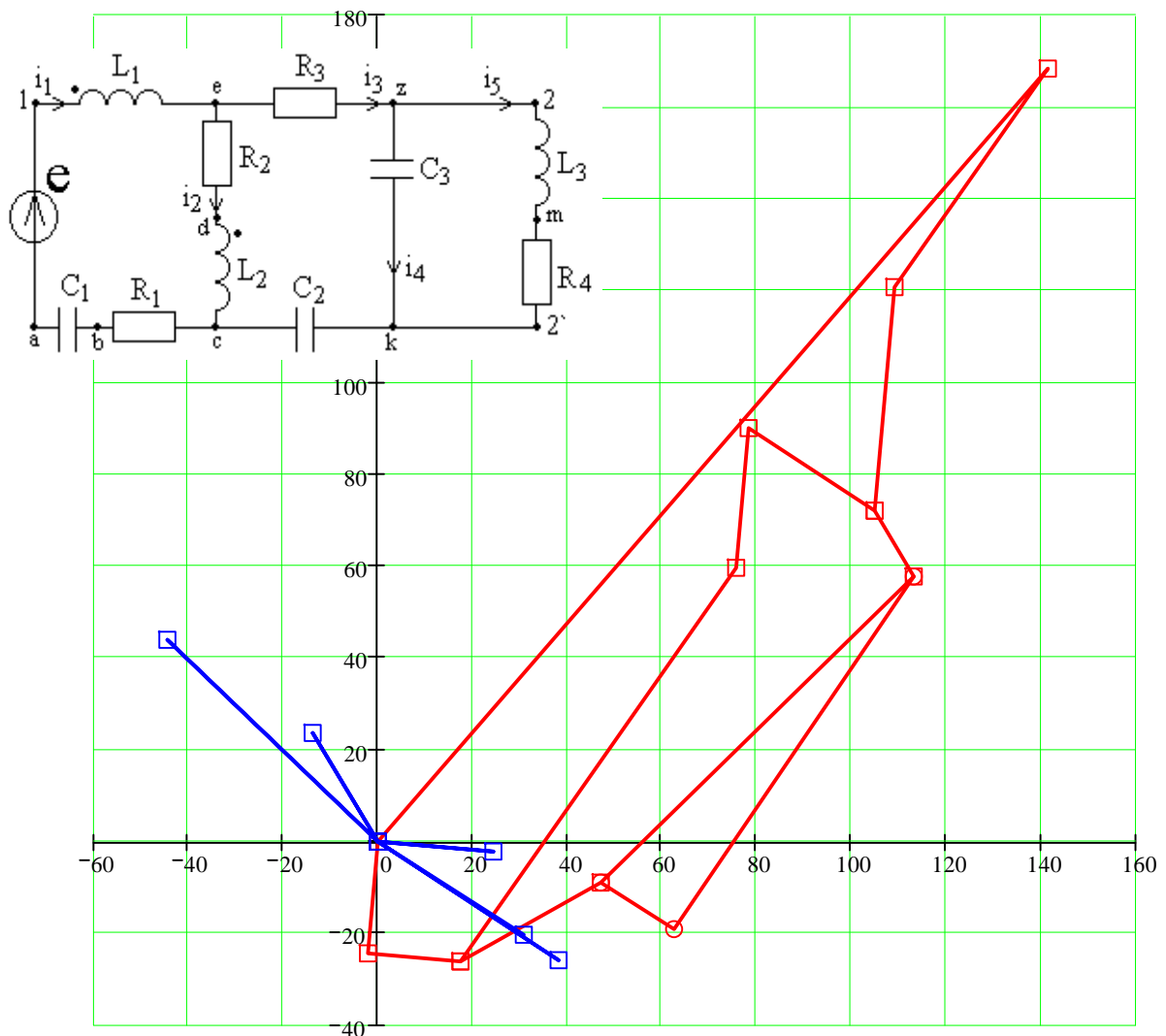
$$F(\phi_m) = (65.311 \quad -16.928)$$

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

$$\phi_z = 113.143 + 57.848i$$

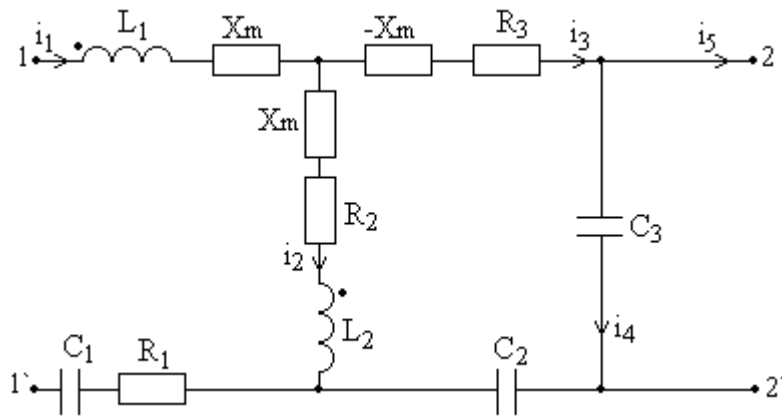
$$F(\phi_z) = (127.073 \quad 27.08)$$

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" :

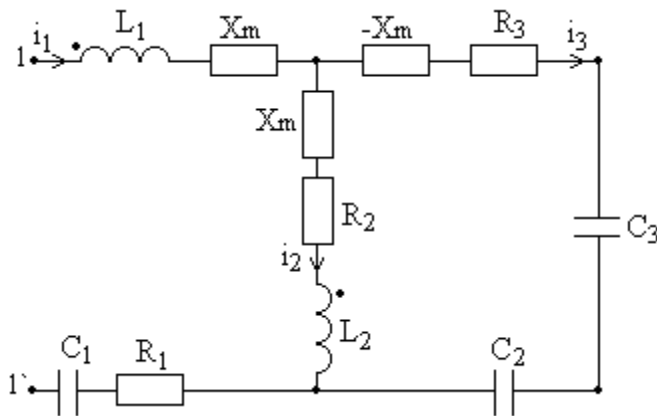
1) Розрахувати коефіцієнти чотириполосника **A, B, C, D**



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

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

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



$$Z_1 := R_1 + j \cdot (X_{L1} + X_M - X_{C1}) \quad Z_1 = 16 + 45i$$

$$Z_2 := R_2 + j \cdot (X_{L2} + X_M) \quad Z_2 = 14 + 70i$$

$$Z_3 := R_3 - j \cdot (X_M + X_{C3} + X_{C2}) \quad Z_3 = 12 - 80i$$

$$Z_{10} := \frac{Z_2 \cdot Z_3}{Z_2 + Z_3} + Z_1 \quad Z_{10} = 212.866 + 109.948i$$

$$Z_{20} := \frac{Z_1 \cdot Z_2}{Z_1 + Z_2} + Z_3 \quad Z_{20} = 20.033 - 52.461i$$

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

$$I_{10} = 0.847 + 0.354i$$

$$F(I_{10}) = (0.918 \quad 22.683)$$

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

$$I_{30} = -1.261 + 1.987i$$

$$F(I_{30}) = (2.353 \quad 122.411)$$

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

$$U_{20} = 59.598 + 37.837i$$

$$F(U_{20}) = (70.594 \quad 32.411)$$

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

$$A = 2.971 + 0.942i$$

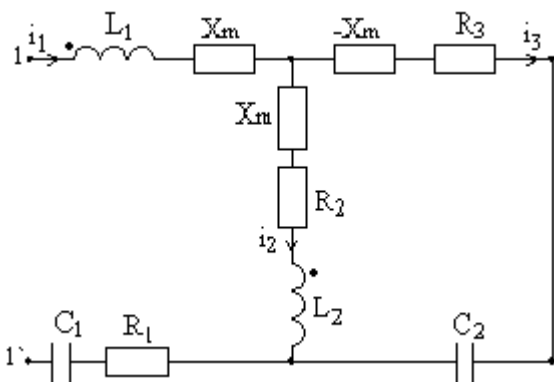
$$F(A) = (3.116 \quad 17.589)$$

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

$$C = 0.013 - 2.198i \times 10^{-3}$$

$$F(C) = (0.013 \quad -9.728)$$

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



$$Z_1 = 16 + 45i$$

$$Z_2 := R_2 + j \cdot (X_{L2} + X_M) \quad Z_2 = 14 + 70i$$

$$Z_3 := R_3 - j \cdot (X_M + X_{C2}) \quad Z_3 = 12 - 50i$$

$$Z_K := \frac{Z_2 \cdot Z_3}{Z_2 + Z_3} + Z_1 \quad Z_K = 107.234 - 19.796i$$

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

$$I_{1K} = 0.995 + 1.755i$$

$$F(I_{1K}) = (2.017 \quad 60.459)$$

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

$$I_{2K} = -0.881 + 4.301i$$

$$F(I_{2K}) = (4.391 \quad 101.581)$$

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

$$B = 31.137 - 39.258i$$

$$F(B) = (50.107 \quad -51.581)$$

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

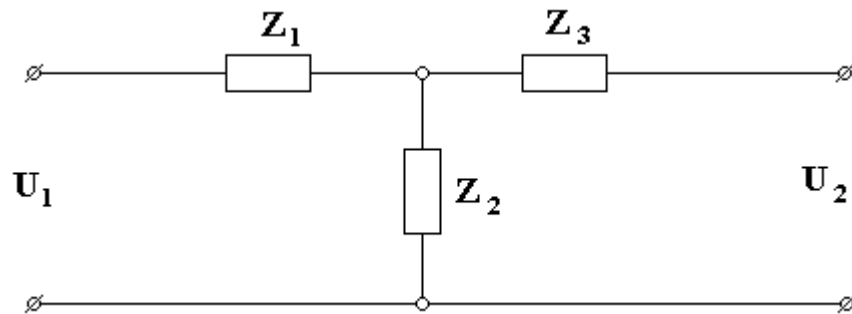
$$D = 0.346 - 0.302i$$

$$F(D) = (0.46 \quad -41.121)$$

Перевірка

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

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



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

$$Z_1 = 137.093 + 96.959i$$

$$F(Z_1) = (167.915 \quad 35.27)$$

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

$$Z_2 = 14 + 70i$$

$$F(Z_2) = (71.386 \quad 78.69)$$

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

$$Z_3 = -45.619 - 31.392i$$

$$F(Z_3) = (55.376 \quad -145.467)$$

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

$$R_1 = 137.093$$

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

$$X_1 = 96.959$$

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

$$R_2 = 75.773$$

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

$$X_2 = 12.99$$

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

$$R_3 = -45.619$$

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

$$X_3 = -31.392$$

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

$$L_2 := \frac{X_2}{2 \cdot \pi \cdot f}$$

$$C_3 := -\frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot X_3}$$

$$L_1 = 0.309$$

$$L_2 = 0.041$$

$$C_3 = 1.014 \times 10^{-4}$$