

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

Розрахунково-графічна робота
“Розрахунок однофазного кола синусоїдного струму”
Варіант № 689

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; визначити покази вольтметра;
- 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, 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).

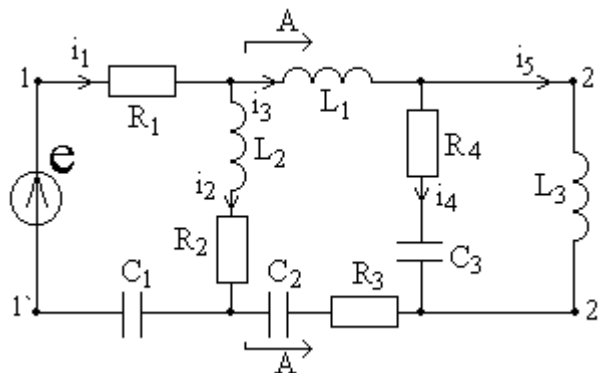
3. ВІДКИНУВШИ ВІТКУ МІЖ ЗАТИСКАЧАМИ 2-2", ВИКОНАТИ ЕКВІВАЛЕНТУВАННЯ ВЗАЄМОІНДУКТИВНИХ ЗВ'ЯЗКІВ ВІТОК. ОДЕРЖАНУ СХЕМУ РОЗГЛЯДАТИ ЯК ЧОТИРИПОЛЮСНИК З ЗАТИСКАЧАМИ 1-1" ТА 2-2" :

- 3.1. Розрахувати коефіцієнти A, B, C, D чотириполосника;
- 3.2. Розрахувати параметри R, L, C віток схеми заміщення.

$$E := 200 \quad \psi := 35 \quad R_1 := 14 \quad R_2 := 12 \quad R_3 := 10 \quad R_4 := 8$$

$$X_{L1} := 60 \quad X_{L2} := 50 \quad X_{L3} := 43 \quad X_{C1} := 20 \quad X_{C2} := 15 \quad X_{C3} := 13 \quad X_M := 32 \quad f := 100$$

$$U := E \cdot e^{j \cdot \psi \cdot \frac{\pi}{180}} \quad U = 163.83 + 114.715i \quad F(U) = (200 \quad 35)$$



Символічний метод

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

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

$$Z_3 := R_3 - X_{C2} \cdot i + X_{L1} \cdot i$$

$$Z_4 := R_4 - X_{C3} \cdot i$$

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

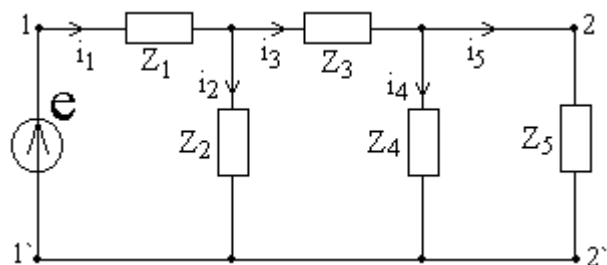
$$Z_1 = 14 - 20i$$

$$Z_2 = 12 + 50i$$

$$Z_3 = 10 + 45i$$

$$Z_4 = 8 - 13i$$

$$Z_5 = 43i$$



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

$$Z_{345} = 25.344 + 30.459i$$

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

$$Z_E = 24.911 + 0.212i$$

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

$$I_1 = 6.615 + 4.549i$$

$$F(I_1) = (8.028 \quad 34.511)$$

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

$$I_2 = 3.377 + 1.206i$$

$$F(I_2) = (3.586 \quad 19.646)$$

$$I_3 := I_1 - I_2$$

$$I_3 = 3.238 + 3.343i$$

$$F(I_3) = (4.654 \quad 45.914)$$

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

$$I_4 = 3.14 + 5.629i$$

$$F(I_4) = (6.445 \quad 60.845)$$

$$I_5 := I_3 - I_4$$

$$I_5 = 0.098 - 2.286i$$

$$F(I_5) = (2.288 \quad -87.547)$$

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 :

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

$$S_r = 1.606 \times 10^3 + 13.694i$$

$$P := (|I_1|)^2 \cdot R_1 + (|I_2|)^2 \cdot R_2 + (|I_3|)^2 \cdot R_3 + (|I_4|)^2 \cdot R_4$$

$$P = 1.606 \times 10^3$$

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

$$Q = 13.694i$$

Будуємо сумісну векторну діаграму струмів та топографічну діаграму напруг

Визначимо потенціали всіх точок позначених на схемі:

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

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

$$\phi_a = 90.971 - 132.307i$$

$$F(\phi_a) = (160.564 \quad -55.489)$$

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

$$\phi_b = 131.501 - 117.839i$$

$$F(\phi_b) = (176.574 \quad -41.864)$$

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

$$\phi_c = 71.215 + 51.036i$$

$$F(\phi_c) = (87.614 \quad 35.627)$$

$$\phi_1 := \phi_c + I_1 \cdot R_1$$

$$\phi_1 = 163.83 + 114.715i$$

$$F(\phi_1) = (200 \quad 35)$$

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

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

$$\phi_d := \phi_1 + I_3 \cdot (-X_{C2} \cdot i)$$

$$\phi_d = 213.973 + 66.147i$$

$$F(\phi_d) = (223.964 \quad 17.178)$$

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

$$\phi_e = 246.352 + 99.575i$$

$$F(\phi_e) = (265.715 \quad 22.009)$$

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

$$\phi_k = 319.525 + 58.756i$$

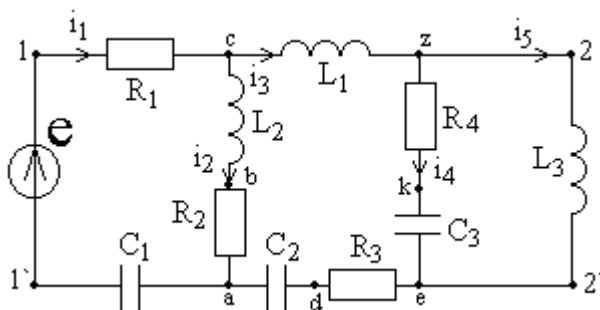
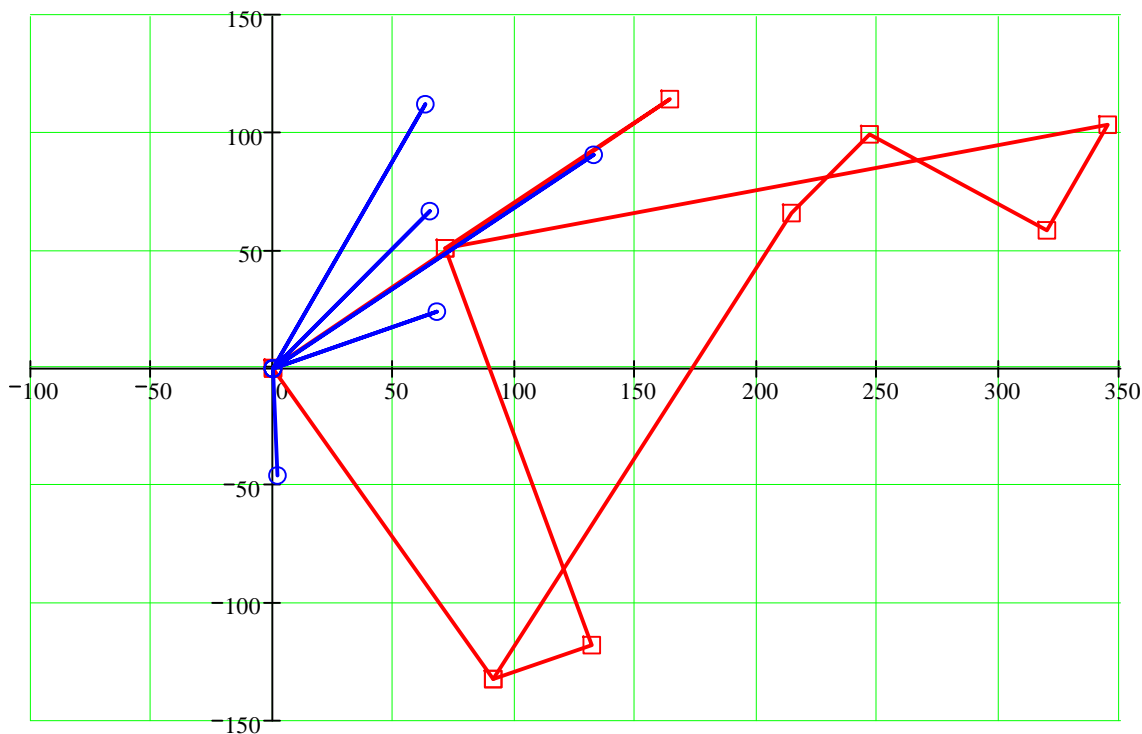
$$F(\phi_k) = (324.882 \quad 10.419)$$

$$\phi_z := \phi_k + I_4 \cdot R_4$$

$$\phi_z = 344.645 + 103.786i$$

$$F(\phi_z) = (359.933 \quad 16.759)$$

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.

$$Z_3 := R_3 + X_{L1} \cdot i - X_{C2} \cdot i$$

$$Z_3 = 10 + 45i$$

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

$$Z_4 = 10 - 13i$$

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

$$Z_5 = 43i$$

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

$$Z_E = 28.49 + 32.53i$$

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

$$R_E = 28.49$$

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

$$X_E = 32.53$$

Умова резонансу струмів на ділянці "ab" :

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

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

$$B_2 = -0.017$$

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

$$X_2 = -57.482$$

Розрахувати струми для резонансного стану кола

$$\begin{aligned} Z_1 &:= R_1 - X_{C1} \cdot i & Z_1 &= 14 - 20i \\ Z_3 &:= R_3 + X_{L1} \cdot i - X_{C2} \cdot i & Z_3 &= 10 + 45i \\ Z_4 &:= R_4 - X_{C3} \cdot i & Z_4 &= 8 - 13i \\ Z_5 &:= X_{L3} \cdot i & Z_5 &= 43i \end{aligned}$$

$$Z_{345} := \frac{Z_4 \cdot Z_5}{Z_4 + Z_5} + Z_3 \quad Z_{345} = 25.344 + 30.459i$$

Вхідний опір кола: $Z_{VX}(X_N) := \frac{Z_{345} \cdot i \cdot X_N}{Z_{345} + i \cdot X_N} + Z_1$

$$Z_{VX}(X_N) \left| \begin{array}{l} \text{complex} \\ \text{simplify} \end{array} \right. \rightarrow \frac{(822136 \cdot X_N + 37928 \cdot X_N^2 + 21189518 + 339057 \cdot i \cdot X_N + 10082 \cdot i \cdot X_N^2 - 30270740 \cdot i)}{(1513537 + 58724 \cdot X_N + 964 \cdot X_N^2)}$$

$$X_N := \text{Im}(Z_{VX}(X_N)) \left| \begin{array}{l} \text{complex} \\ \text{solve, } X_N \rightarrow \\ \text{float, 20} \end{array} \right. \left(\begin{array}{c} 40.501670825928283326 \\ -74.131605362726537640 \end{array} \right) \quad X_N := \begin{pmatrix} X_{N0} \\ X_{N1} \end{pmatrix}$$

Отже резонанс кола буде при таких активних опорах у другій вітці: $X_N = \begin{pmatrix} 40.502 \\ -74.132 \end{pmatrix}$

$$X_n := X_{N0} \quad X_n = 40.502 \quad Z_{VX}(X_n) = 21.322$$

$$I_1 := \frac{U}{Z_{VX}(X_n)} \quad I_1 = 7.683 + 5.38i \quad F(I_1) = (9.38 \quad 35)$$

$$I_2 := I_1 \cdot \frac{Z_{345}}{Z_{345} + i \cdot X_n} \quad I_2 = 4.767 + 1.268i \quad F(I_2) = (4.932 \quad 14.891)$$

$$I_3 := I_1 - I_2 \quad I_3 = 2.917 + 4.112i \quad F(I_3) = (5.042 \quad 54.655)$$

$$I_4 := I_3 \cdot \frac{Z_5}{Z_4 + Z_5} \quad I_4 = 2.435 + 6.544i \quad F(I_4) = (6.982 \quad 69.586)$$

$$I_5 := I_3 - I_4 \quad I_5 = 0.481 - 2.432i \quad F(I_5) = (2.479 \quad -78.806)$$

$$S_1 := U \cdot \overline{I_1} \quad S_1 = 1.876 \times 10^3$$

$$P := (|I_1|)^2 \cdot R_1 + (|I_3|)^2 \cdot R_3 + (|I_4|)^2 \cdot R_4 \quad P = 1.876 \times 10^3$$

$$Q := (|I_1|)^2 \cdot (-X_{C1}) + (|I_2|)^2 \cdot X_n + (|I_3|)^2 \cdot (X_{L1} - X_{C2}) + (|I_4|)^2 \cdot (-X_{C3}) + (|I_5|)^2 \cdot X_{L3} \quad Q = 1.137 \times 10^{-13}$$

При $X_n := X_{N1} \quad X_n = -74.132 \quad Z_{VX}(X_n) = 68.627$

$$I_1 := \frac{U}{Z_{VX}(X_n)} \quad I_1 = 2.387 + 1.672i \quad F(I_1) = (2.914 \quad 35)$$

$$I_2 := I_1 \cdot \frac{Z_{345}}{Z_{345} + i \cdot X_n} \quad I_2 = -1.876 + 1.308i \quad F(I_2) = (2.287 \quad 145.109)$$

$$I_3 := I_1 - I_2 \quad I_3 = 4.263 + 0.363i \quad F(I_3) = (4.279 \quad 4.873)$$

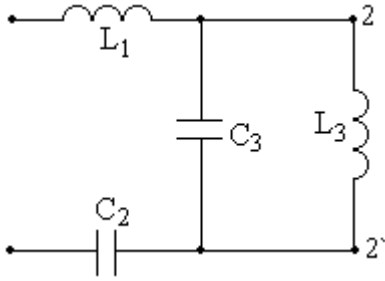
$$I_4 := I_3 \cdot \frac{Z_5}{Z_4 + Z_5} \quad I_4 = 5.575 + 2.008i \quad F(I_4) = (5.926 \quad 19.804)$$

$$I_5 := I_3 - I_4 \quad I_5 = -1.312 - 1.644i \quad F(I_5) = (2.103 \quad -128.589)$$

$$S_1 := U \cdot \overline{I_1} \quad S_1 = 582.865 \quad P := (|I_1|)^2 \cdot R_1 + (|I_3|)^2 \cdot R_3 + (|I_4|)^2 \cdot R_4 \quad P = 582.865$$

$$Q := (|I_1|)^2 \cdot (-X_{C1}) + (|I_2|)^2 \cdot X_n + (|I_3|)^2 \cdot (X_{L1} - X_{C2}) + (|I_4|)^2 \cdot (-X_{C3}) + (|I_5|)^2 \cdot X_{L3} \quad Q = -2.842 \times 10^{-14}$$

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



$$L_1 := \frac{X_{L1}}{\omega}$$

$$L_1 = 0.095$$

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

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

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

$$C_3 = 1.224 \times 10^{-4}$$

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

$$L_3 = 0.068$$

$$Z(p) := \frac{p \cdot L_3 \cdot \frac{1}{p \cdot C_3}}{p \cdot L_3 - \frac{1}{p \cdot C_3}} + p \cdot L_1 - \frac{1}{p \cdot C_2}$$

Знаходимо нулі: $Z(p) = 0$

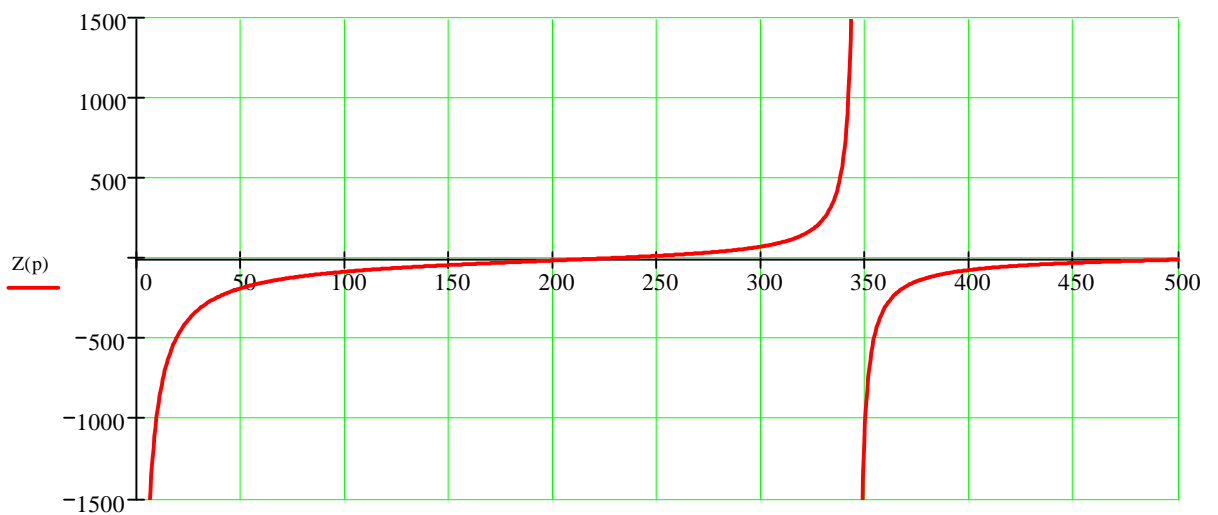
$$w_1 := Z(p) \left| \begin{array}{l} \text{solve, } p \\ \text{float, } 3 \end{array} \right. \rightarrow \begin{pmatrix} 507. \\ -507. \\ 214. \\ -214. \end{pmatrix}$$

$$w_1 := \begin{pmatrix} w_{10} \\ w_{12} \end{pmatrix} \quad w_1 = \begin{pmatrix} 507 \\ 214 \end{pmatrix}$$

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

$$w := \frac{1}{Z(p)} \left| \begin{array}{l} \text{solve, } p \\ \text{float, } 10 \end{array} \right. \rightarrow \begin{pmatrix} 345.4755500 \\ -345.4755500 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$w := \begin{pmatrix} w_0 \\ w_2 \end{pmatrix} \quad w = \begin{pmatrix} 345.476 \\ 0 \end{pmatrix}$$



p

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

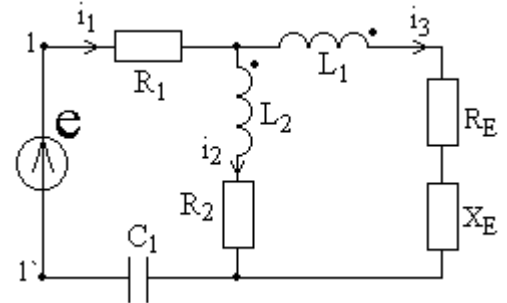
2.1. Перетворивши схему до двох незалежних контурів, розрахувати струми у всіх вітках схеми методом контурних струмів, визначити покази вольметра;

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

$$\begin{aligned} Z_3 &:= R_3 - X_{C2} \cdot i & Z_3 &= 10 - 15i \\ Z_4 &:= R_4 - X_{C3} \cdot i & Z_4 &= 8 - 13i \\ Z_5 &:= X_{L3} \cdot i & Z_5 &= 43i \\ Z_{345} &:= \frac{Z_5 \cdot Z_4}{Z_5 + Z_4} + Z_3 & Z_{345} &= 25.344 - 29.541i \end{aligned}$$



$$R_E := \operatorname{Re}(Z_{345}) \quad R_E = 25.344 \quad X_E := \operatorname{Im}(Z_{345}) \quad X_E = -29.541$$

Знайдемо контурні та міжконтурні опори схеми:

$$\begin{aligned} Z_{11} &:= R_1 + R_2 + X_{L2} \cdot i - X_{C1} \cdot i & Z_{11} &= 26 + 30i \\ Z_{22} &:= R_E + X_E \cdot i + X_{L1} \cdot i + X_{L2} \cdot i + R_2 + 2 \cdot X_M \cdot i & Z_{22} &= 37.344 + 144.459i \\ Z_{12} &:= R_2 + X_{L2} \cdot i + X_M \cdot i & Z_{21} &:= Z_{12} \\ U &= 163.83 + 114.715i & F(U) &= (200 \quad 35) \end{aligned}$$

Given

$$\begin{aligned} I_1 \cdot (Z_{11}) - I_3 \cdot (Z_{12}) &= U \\ -I_1 \cdot (Z_{21}) + I_3 \cdot (Z_{22}) &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \begin{pmatrix} I_1 \\ I_3 \end{pmatrix} &:= \operatorname{Find}(I_1, I_3) & I_2 &:= I_1 - I_3 \\ I_1 &= 2.534 + 6.397i & F(I_1) &= (6.881 \quad 68.393) \\ I_2 &= 1.516 + 2.713i & F(I_2) &= (3.108 \quad 60.801) \\ I_3 &= 1.017 + 3.684i & F(I_3) &= (3.822 \quad 74.562) \\ I_4 &:= I_3 \cdot \frac{Z_5}{Z_4 + Z_5} & I_4 &= 0.047 + 5.293i & F(I_4) &= (5.293 \quad 89.493) \\ I_5 &:= I_3 - I_4 & I_5 &= 0.971 - 1.609i & F(I_5) &= (1.879 \quad -58.899) \end{aligned}$$

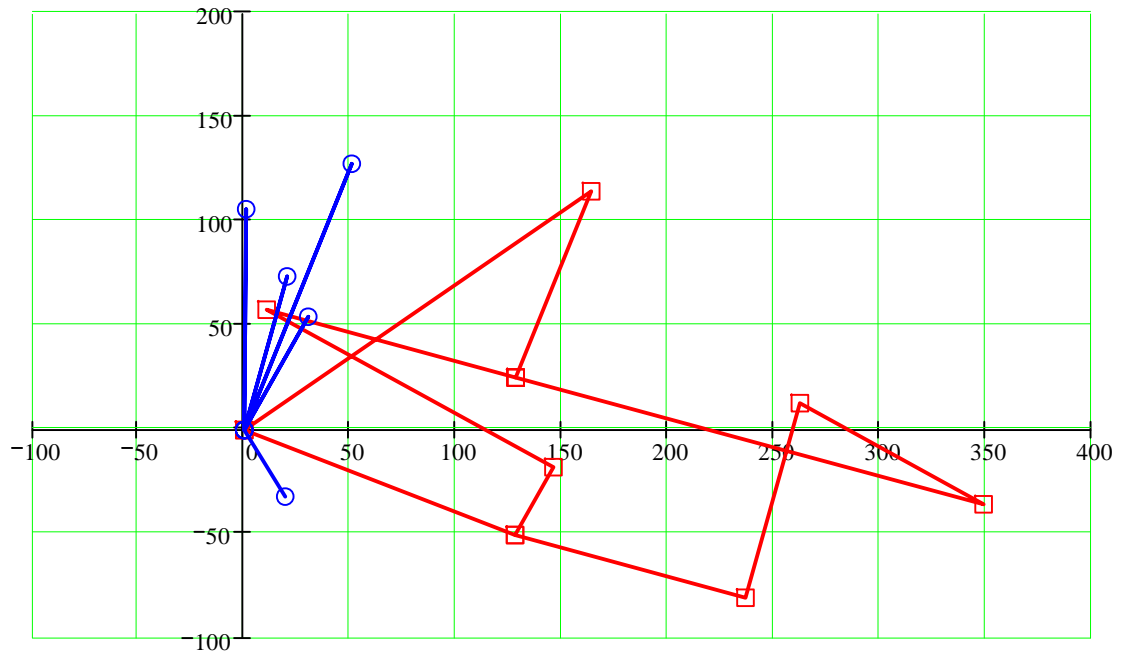
Баланс потужностей електричного кола :

$$\begin{aligned} S_r &:= U \cdot \overline{I_1} & S_r &= 1.149 \times 10^3 - 757.42i \\ P_r &:= \operatorname{Re}(S_r) & P_r &= 1.149 \times 10^3 & Q_r &:= \operatorname{Im}(S_r) & Q_r &= -757.42 \\ S_{M1} &:= \overline{I_2} \cdot I_3 \cdot X_M \cdot i & S_{M1} &= -90.427 + 369.248i & F(S_{M1}) &= (380.16 \quad 103.761) \\ S_{M2} &:= \overline{I_3} \cdot I_2 \cdot X_M \cdot i & S_{M2} &= 90.427 + 369.248i & F(S_{M2}) &= (380.16 \quad 76.239) \\ S_{KC} &:= \left(|I_1| \right)^2 \cdot (R_1 - X_{C1} \cdot i) + \left(|I_2| \right)^2 \cdot (R_2 + X_{L2} \cdot i) + \left(|I_3| \right)^2 \cdot (X_{L1} \cdot i + R_E + X_E \cdot i) - (S_{M1} + S_{M2}) \\ S_{KC} &= 1.149 \times 10^3 - 757.42i \end{aligned}$$

Визначимо потенціали всіх точок позначених на схемі:

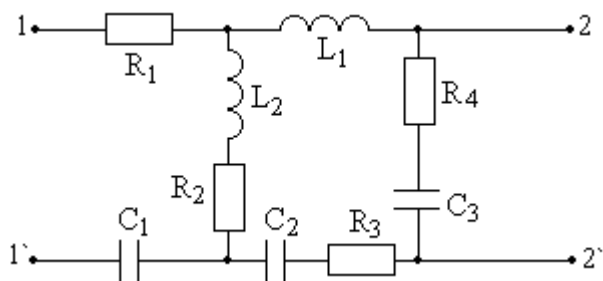
$\phi_{1'} := 0$		
$\phi_a := \phi_{1'} + I_1 \cdot (-X_{C1} \cdot i)$	$\phi_a = 127.948 - 50.676i$	$F(\phi_a) = (137.618 \quad -21.607)$
$\phi_b := \phi_a + I_2 \cdot R_2$	$\phi_b = 146.145 - 18.115i$	$F(\phi_b) = (147.264 \quad -7.066)$
$\phi_{c'} := \phi_b + I_2 \cdot X_{L2} \cdot i$	$\phi_{c'} = 10.472 + 57.708i$	$F(\phi_{c'}) = (58.65 \quad 79.715)$
$\phi_c := \phi_{c'} - I_3 \cdot X_M \cdot i$	$\phi_c = 128.357 + 25.152i$	$F(\phi_c) = (130.798 \quad 11.087)$
$\phi_1 := \phi_c + I_1 \cdot R_1$	$\phi_1 = 163.83 + 114.715i$	$F(\phi_1) = (200 \quad 35)$
$\phi_A := \phi_1 - U$	$\phi_A = -2.842 \times 10^{-14}$	
$\phi_k := \phi_a + I_3 \cdot (X_E \cdot i)$	$\phi_k = 236.776 - 80.731i$	$F(\phi_k) = (250.161 \quad -18.827)$
$\phi_m := \phi_k + I_3 \cdot R_E$	$\phi_m = 262.561 + 12.636i$	$F(\phi_m) = (262.865 \quad 2.755)$
$\phi_{m'} := \phi_m - I_2 \cdot X_M \cdot i$	$\phi_{m'} = 349.392 - 35.89i$	$F(\phi_{m'}) = (351.231 \quad -5.865)$
$\phi_c := \phi_{m'} + I_3 \cdot X_{L1} \cdot i$	$\phi_c = 128.357 + 25.152i$	$F(\phi_c) = (130.798 \quad 11.087)$

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" :

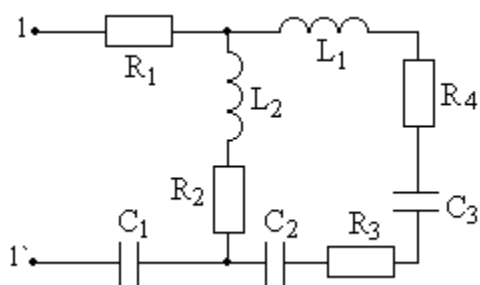
1) Розрахувати коефіцієнти чотириполосника **A, B, C, D**



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

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

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



$$Z_1 := R_1 + j \cdot (X_M - X_{C1}) \quad Z_1 = 14 + 12i$$

$$Z_2 := R_2 + j \cdot (X_{L2} - X_M) \quad Z_2 = 12 + 18i$$

$$Z_3 := R_3 + R_4 - j \cdot (X_M + X_{C3} + X_{C2} - X_{L1}) \quad Z_3 = 18$$

$$Z_{10} := \frac{Z_2 \cdot Z_3}{Z_2 + Z_3} + Z_1 \quad Z_{10} = 24.059 + 16.765i$$

$$Z_{20} := \frac{Z_1 \cdot Z_2}{Z_1 + Z_2} + Z_3 \quad Z_{20} = 24.746 + 7.447i$$

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

$$I_{10} = 6.82 + 0.016i$$

$$F(I_{10}) = (6.82 \quad 0.13)$$

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

$$I_{30} = 3.807 + 1.814i$$

$$F(I_{30}) = (4.217 \quad 25.477)$$

$$U_{20} := I_{30} \cdot (R_4 - X_{C3} \cdot i)$$

$$U_{20} = 54.041 - 34.982i$$

$$F(U_{20}) = (64.376 \quad -32.916)$$

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

$$A = 1.168 + 2.879i$$

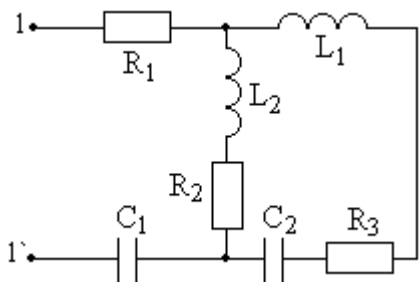
$$F(A) = (3.107 \quad 67.916)$$

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

$$C = 0.089 + 0.058i$$

$$F(C) = (0.106 \quad 33.046)$$

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



$$Z_1 := R_1 + j \cdot (X_M - X_{C1})$$

$$Z_1 = 14 + 12i$$

$$Z_2 := R_2 + j \cdot (X_{L2} - X_M)$$

$$Z_2 = 12 + 18i$$

$$Z_3 := R_3 - j \cdot (X_M + X_{C2} - X_{L1})$$

$$Z_3 = 10 + 13i$$

$$Z_K := \frac{Z_2 \cdot Z_3}{Z_2 + Z_3} + Z_1$$

$$Z_K = 19.473 + 19.561i$$

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

$$I_{1K} = 7.133 - 1.274i$$

$$F(I_{1K}) = (7.246 \quad -10.13)$$

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

$$I_{2K} = 4.079 - 0.607i$$

$$F(I_{2K}) = (4.124 \quad -8.458)$$

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

$$B = 35.205 + 33.359i$$

$$F(B) = (48.5 \quad 43.458)$$

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

$$D = 1.756 - 0.051i$$

$$F(D) = (1.757 \quad -1.672)$$

Перевірка

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

Визначити ЕРС E та струм I_1 на вході чотириполосника, при яких на його виході $U_2 := 100$, $I_2 := 1$, $\phi_2 := 30$

$$U_2 := U_2 \cdot e^{j \cdot \phi_2 \cdot \frac{\pi}{180}}$$

$$F(U_2) = (100 \ 30)$$

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

$$U_1 = -7.581 + 341.076i$$

$$F(U_1) = (341.16 \ 91.273)$$

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

$$I_1 = 6.559 + 9.393i$$

$$F(I_1) = (11.456 \ 55.074)$$

Перевірка:

$$U_2 := \frac{U_1 - B \cdot I_2}{A}$$

$$F(U_2) = (100 \ 30)$$

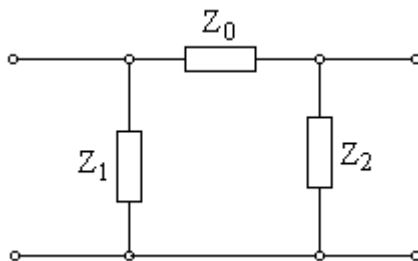
$$U_2 := \frac{I_1 - I_2 \cdot D}{C}$$

$$F(U_2) = (100 \ 30)$$

$$I_2 := \frac{U_1 - A \cdot U_2}{B}$$

$$F(I_2) = (1 \ -1.096 \times 10^{-14})$$

Розрахувати параметри віток схеми II заміщення:



$$Z_0 := B$$

$$Z_0 = 35.205 + 33.359i$$

$$F(Z_0) = (48.5 \ 43.458)$$

$$Y_1 := \frac{D - 1}{B}$$

$$Y_1 = 0.011 - 0.011i$$

$$F(Y_1) = (0.016 \ -47.336)$$

$$Y_2 := \frac{A - 1}{B}$$

$$Y_2 = 0.043 + 0.041i$$

$$F(Y_2) = (0.059 \ 43.202)$$

$$R_0 := \text{Re}(Z_0)$$

$$R_0 = 35.205$$

$$X_{L0} := \text{Im}(Z_0)$$

$$X_{L0} = 33.359$$

$$Z_1 := \frac{1}{Y_1}$$

$$Z_1 = 43.353 + 47.041i$$

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

$$R_1 = 43.353$$

$$X_{L1} := \text{Im}(Z_1)$$

$$X_{L1} = 47.041$$

$$Z_2 := \frac{1}{Y_2}$$

$$Z_2 = 12.26 - 11.513i$$

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

$$R_2 = 12.26$$

$$X_{C2} := -\text{Im}(Z_2)$$

$$X_{C2} = 11.513$$

$$L_1 := \frac{X_{L1}}{\omega}$$

$$L_1 = 0.075$$

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

$$C_2 = 1.382 \times 10^{-4}$$

$$L_0 := \frac{X_{L0}}{\omega}$$

$$L_0 = 0.053$$