

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

Розрахунково-графічна робота
“Розрахунок однофазного кола синусоїдного струму”
Варіант № 214

Виконав: _____

Перевірив: _____

Умова завдання

В електричному колі діє джерело синусоїдної ЄРС:

Необхідно:

1. ДЛЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО КОЛА БЕЗ ВЗАЄМНОЇ ІНДУКЦІЇ:

- 1.1. Розрахувати вхідний струм методом провідностей;
- 1.2. Розрахувати струми віток символічним методом скласти баланс активних і реактивних потужностей кола;
- 1.3. Побудувати діаграму струмів і топографічну діаграму напруг, показати кут зсуву фаз;
- 1.4. Приймаючи активний опір R_2 за нульовий і вважаючи реактивний опір цієї вітки невідомий, розрахувати його за умови резонансу струмів;
- 1.5. Розрахувати струму для резонансного стану кола, 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 замкнути.

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 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).

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.

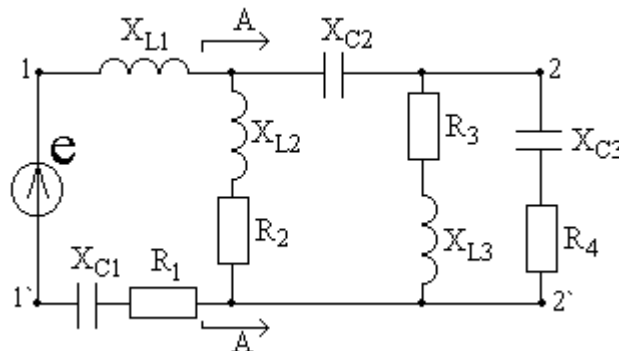
$$E := 120 \quad \psi := -30 \quad R_1 := 7 \quad R_2 := 9 \quad R_3 := 11 \quad R_4 := 13 \quad X_{L1} := 30 \quad X_{L2} := 35 \quad X_{L3} := 40$$

$$X_{C1} := 10 \quad X_{C2} := 15 \quad X_{C3} := 20 \quad X_M := 20 \quad f := 50$$

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

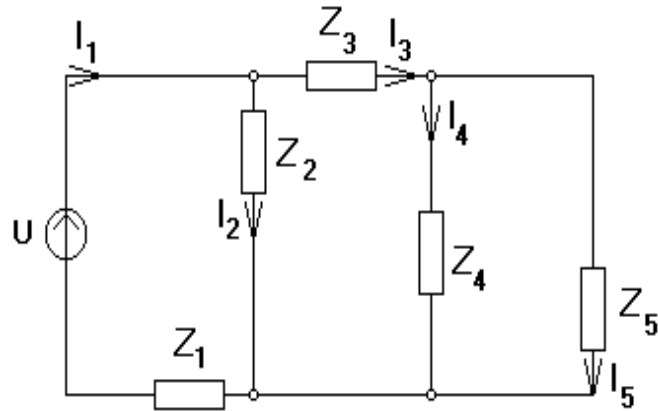
$$U = 103.923 - 60i$$

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



Для електричного кола без взаємної індукції:

Розрахувати всі струми символьним методом



$$Z_1 := R_1 + i \cdot (X_{L1} - X_{C1}) \rightarrow 7 + 20 \cdot i$$

$$Z_4 := R_3 + i \cdot X_{L3} \rightarrow 11 + 40 \cdot i$$

$$Z_2 := R_2 + i \cdot (X_{L2}) \rightarrow 9 + 35 \cdot i$$

$$Z_5 := R_4 - i \cdot X_{C3} \rightarrow 13 - 20 \cdot i$$

$$Z_3 := -i \cdot X_{C2} \rightarrow -15 \cdot i$$

$$Z_E := \frac{\left(\frac{Z_5 \cdot Z_4}{Z_5 + Z_4} + Z_3 \right) \cdot Z_2}{Z_2 + \frac{Z_5 \cdot Z_4}{Z_5 + Z_4} + Z_3} + Z_1 \quad Z_E = 41.274 + 33.257i$$

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

$$I_1 = 0.816 - 2.112i$$

$$F(I_1) = (2.264 \quad -68.861)$$

$$I_2 := \frac{I_1 \cdot \left(\frac{Z_5 \cdot Z_4}{Z_5 + Z_4} + Z_3 \right)}{Z_2 + \frac{Z_5 \cdot Z_4}{Z_5 + Z_4} + Z_3}$$

$$I_2 = -1.264 - 1.924i$$

$$F(I_2) = (2.302 \quad -123.294)$$

$$I_3 := \frac{I_1 \cdot Z_2}{\left(Z_2 + \frac{Z_5 \cdot Z_4}{Z_5 + Z_4} + Z_3 \right)}$$

$$I_3 = 2.08 - 0.187i$$

$$F(I_3) = (2.089 \quad -5.145)$$

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

$$I_4 = -0.33 - 1.56i$$

$$F(I_4) = (1.595 \quad -101.927)$$

$$I_5 := I_3 \cdot \frac{Z_4}{Z_4 + Z_5}$$

$$I_5 = 2.41 + 1.373i$$

$$F(I_5) = (2.773 \quad 29.673)$$

Перевірка за першим законом Кіргофа:

$$I_1 - I_2 - I_3 = 0$$

$$I_3 - I_4 - I_5 = 0$$

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

Перевірка за другим законом Кіргофа:

$$-I_1 \cdot [R_1 + i \cdot (X_{L1} - X_{C1})] + U - I_2 \cdot (R_2 + i \cdot X_{L2}) = 7.105 \times 10^{-15} - 7.105i \times 10^{-15}$$

$$I_2 \cdot (R_2 + i \cdot X_{L2}) - I_4 \cdot (R_3 + i \cdot X_{L3}) - I_3 \cdot (-i \cdot X_{C2}) = -8.438 \times 10^{-15} + 3.553i \times 10^{-15}$$

$$I_4 \cdot (R_3 + i \cdot X_{L3}) - I_5 \cdot (R_4 - i \cdot X_{C3}) = 0$$

Перевірка за балансом потужностей

$$S_1 := U \cdot I_1$$

$$S_1 = 211.543 + 170.454i$$

$$P := (|I_1|)^2 \cdot R_1 + (|I_2|)^2 \cdot R_2 + (|I_4|)^2 \cdot R_3 + (|I_5|)^2 \cdot R_4 \quad P = 211.543$$

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

$$Q = 170.454$$

Будуємо сумісну векторну діаграму струмів та топографічну діаграму напруг

Знаходимо потенціали точок:

$$\phi_a := 0$$

$$\phi_b := \phi_a + I_1 \cdot (-i \cdot X_{C1}) \quad \phi_b = -21.116 - 8.165i \quad F(\phi_b) = (22.639 \quad -158.861)$$

$$\phi_c := \phi_b + I_1 \cdot R_1 \quad \phi_c = -15.401 - 22.946i \quad F(\phi_c) = (27.635 \quad -123.869)$$

$$\phi_d := \phi_c + I_2 \cdot R_2 \quad \phi_d = -26.774 - 40.264i \quad F(\phi_d) = (48.353 \quad -123.622)$$

$$\phi_e := \phi_d + I_2 \cdot i \cdot X_{L2} \quad \phi_e = 40.576 - 84.494i \quad F(\phi_e) = (93.731 \quad -64.349)$$

$$\phi_1 := \phi_e + I_1 \cdot i \cdot X_{L1} \quad \phi_1 = 103.923 - 60i \quad F(\phi_1) = (120 \quad -30)$$

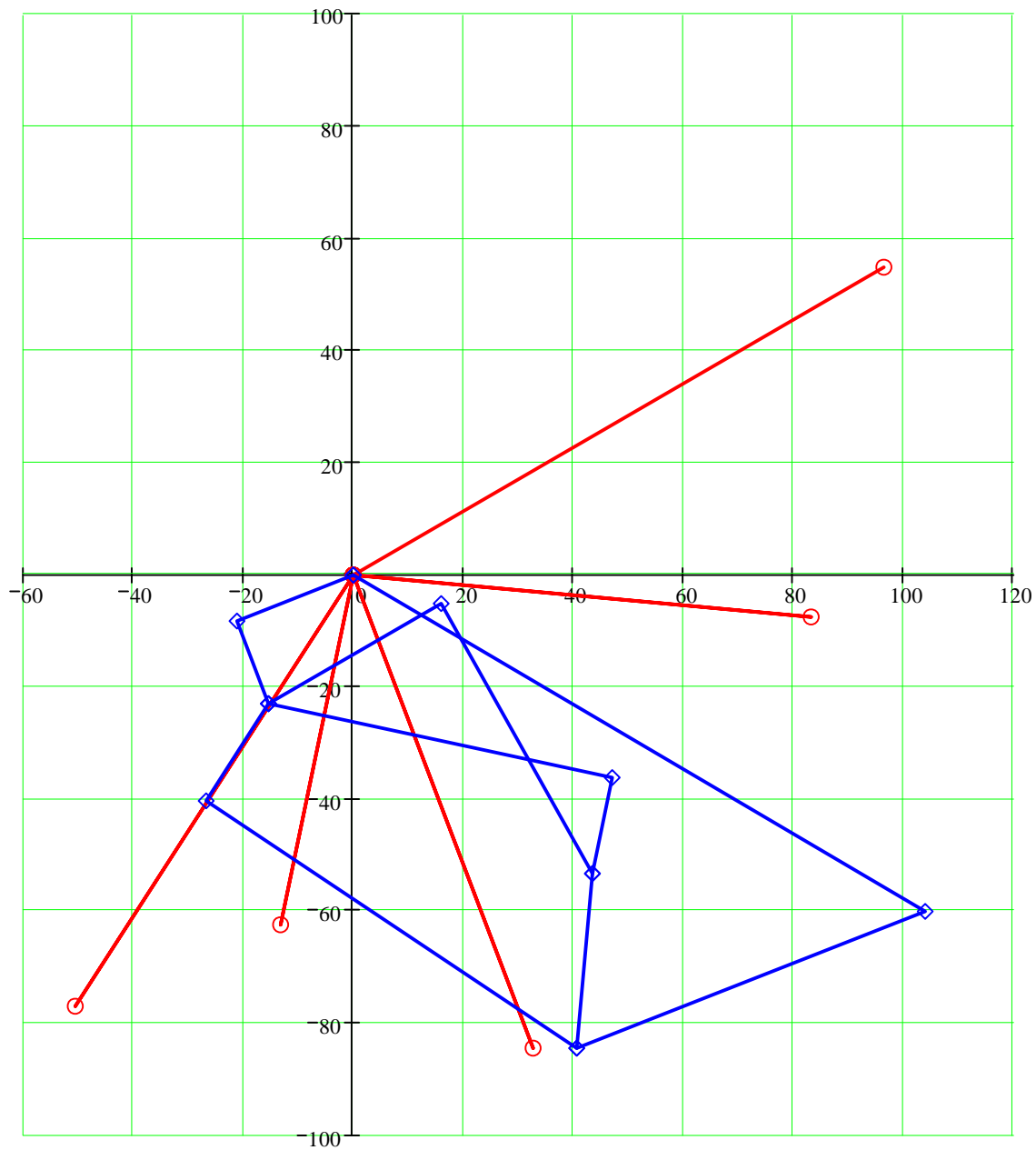
$$\phi_{1'} := \phi_1 - U \quad \phi_{1'} = 7.105i \times 10^{-15}$$

$$\phi_m := \phi_c + I_4 \cdot i \cdot X_{L3} \quad \phi_m = 47.01 - 36.128i \quad F(\phi_m) = (59.289 \quad -37.543)$$

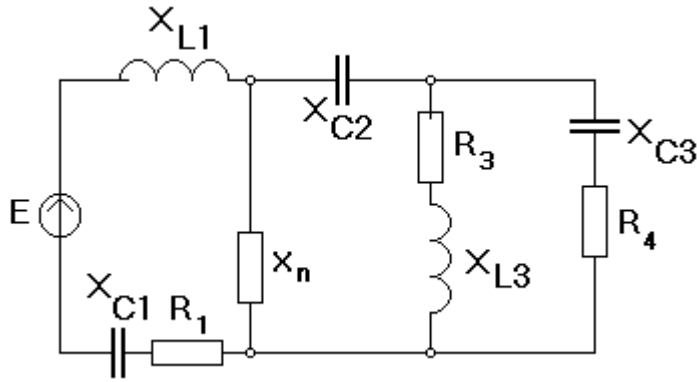
$$\phi_n := \phi_m + I_4 \cdot R_3 \quad \phi_n = 43.385 - 53.291i \quad F(\phi_n) = (68.719 \quad -50.85)$$

$$\phi_k := \phi_c + I_5 \cdot R_4 \quad \phi_k = 15.926 - 5.097i \quad F(\phi_k) = (16.721 \quad -17.747)$$

$$\phi_n := \phi_k + I_5 \cdot i \cdot (-X_{C3}) \quad \phi_n = 43.385 - 53.291i \quad F(\phi_n) = (68.719 \quad -50.85)$$



Прийняти опір $R_2 = 0$ і, вважаючи реактивний опір цієї вітки невідомим, визначити його за умовою резонансу струмів.



$$Z_E := \frac{(R_3 + i \cdot X_{L3}) \cdot (R_4 - i \cdot X_{C3})}{R_3 + R_4 + i \cdot (X_{L3} - X_{C3})} - i \cdot X_{C2} \quad Z_E = 29.336 - 26.947i$$

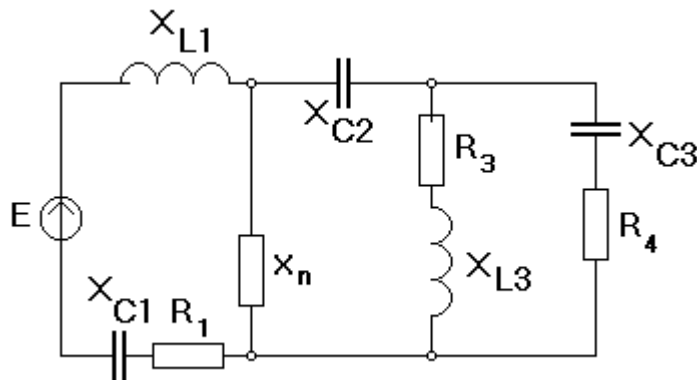
$$Z_E = R_E + j \cdot X_E \quad R_E := \operatorname{Re}(Z_E) \quad R_E = 29.336 \quad X_E := \operatorname{Im}(Z_E) \quad X_E = -26.947$$

За умовою резонансу:

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

$$B_n := \frac{-X_E}{X_E^2 + R_E^2} \quad B_n = 0.017 \quad \text{Реактивний опір вітки: } X_n := \frac{1}{B_n} \quad X_n = 58.884$$

Розрахувати струми для резонансного стану кола;



$$\begin{aligned} Z_1 &:= -X_{C1} \cdot i + X_{L1} \cdot i + R_1 & Z_1 &= 7 + 20i \\ Z_3 &:= -X_{C2} \cdot i & Z_3 &= -15i \\ Z_4 &:= R_3 + X_{L3} \cdot i & Z_4 &= 11 + 40i \\ Z_5 &:= R_4 - X_{C3} \cdot i & Z_5 &= 13 - 20i \\ Z_{345} &:= \frac{Z_4 \cdot Z_5}{Z_4 + Z_5} + Z_3 & Z_{345} &= 29.336 - 26.947i \end{aligned}$$

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

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

$$X_{VX}(X_N) := \operatorname{Im}(Z_{VX}(X_N)) \quad \left| \begin{array}{l} \text{complex} \\ \text{simplify} \end{array} \right. \rightarrow \frac{-(-496649 \cdot X_N + 6780 \cdot X_N^2 - 30972980)}{(1548649 - 52600 \cdot X_N + 976 \cdot X_N^2)}$$

Нулі функції (уявної частини вхідного опору) дорівнюють:

$$X_N := X_{VX}(X_N) \quad \left| \begin{array}{l} \text{solve, } X_N \\ \text{float, 50} \end{array} \right. \rightarrow \left(\begin{array}{l} 113.50094635794123149805747021019565700657668596105 \\ -40.248881461186069256169564605475892994777275931556 \end{array} \right)$$

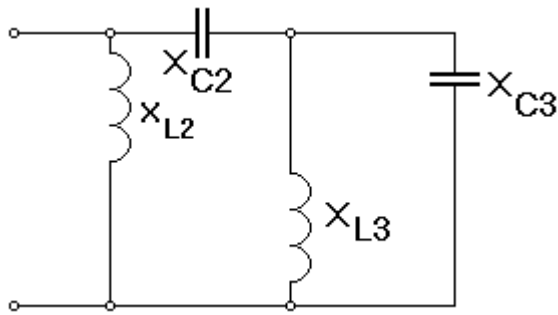
Отже резонанс кола можливий при таких опорах у другій вітці: $X_N = \begin{pmatrix} 113.501 \\ -40.249 \end{pmatrix}$

$$X_n := X_{N_0} \quad X_n = 113.501 \quad Z_{VX}(X_n) = 52.248$$

$$I_1 := \frac{U}{Z_{VX}(X_n)} \quad I_1 = 1.989 - 1.148i \quad F(I_1) = (2.297 \quad -30)$$

$I_2 := I_1 \cdot \frac{Z_{345}}{Z_{345} + i \cdot X_n}$	$I_2 = -0.808 - 0.591i$	$F(I_2) = (1.001 \quad -143.846)$
$I_3 := I_1 - I_2$	$I_3 = 2.797 - 0.558i$	$F(I_3) = (2.852 \quad -11.277)$
$I_4 := I_3 \cdot \frac{Z_5}{Z_4 + Z_5}$	$I_4 = -0.675 - 2.071i$	$F(I_4) = (2.178 \quad -108.058)$
$I_5 := I_3 - I_4$	$I_5 = 3.472 + 1.513i$	$F(I_5) = (3.788 \quad 23.541)$
$S_1 := U \cdot \overline{I_1}$	$S_1 = 275.609$	
$P := (I_1)^2 \cdot R_1 + (I_4)^2 \cdot R_3 + (I_5)^2 \cdot R_4$	$P = 275.609$	
$Q := (I_1)^2 \cdot (X_{L1} - X_{C1}) + (I_2)^2 \cdot X_n + (I_3)^2 \cdot (-X_{C2}) + (I_4)^2 \cdot (X_{L3}) + (I_5)^2 \cdot (-X_{C3})$		$Q = -5.684 \times 10^{-14}$
При $X_n := X_{N_1} \quad X_n = -40.249 \quad Z_{VX}(X_n) = 15.84$		
$I_1 := \frac{U}{Z_{VX}(X_n)}$	$I_1 = 6.561 - 3.788i$	$F(I_1) = (7.576 \quad -30)$
$I_2 := I_1 \cdot \frac{Z_{345}}{Z_{345} + i \cdot X_n}$	$I_2 = 4.092 - 0.441i$	$F(I_2) = (4.116 \quad -6.154)$
$I_3 := I_1 - I_2$	$I_3 = 2.469 - 3.347i$	$F(I_3) = (4.159 \quad -53.585)$
$I_4 := I_3 \cdot \frac{Z_5}{Z_4 + Z_5}$	$I_4 = -2.76 - 1.57i$	$F(I_4) = (3.175 \quad -150.367)$
$I_5 := I_3 - I_4$	$I_5 = 5.229 - 1.777i$	$F(I_5) = (5.522 \quad -18.767)$
$S_1 := U \cdot \overline{I_1}$	$S_1 = 909.079$	
$P := (I_1)^2 \cdot R_1 + (I_4)^2 \cdot R_3 + (I_5)^2 \cdot R_4$	$P = 909.079$	
$Q := (I_1)^2 \cdot (X_{L1} - X_{C1}) + (I_2)^2 \cdot X_n + (I_3)^2 \cdot (-X_{C2}) + (I_4)^2 \cdot (X_{L3}) + (I_5)^2 \cdot (-X_{C3})$		$Q = 1.137 \times 10^{-13}$

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



$$L_2 := \frac{X_{L2}}{\omega} \rightarrow \frac{7}{20 \cdot \pi} \quad L_2 = 0.111$$

$$L_3 := \frac{X_{L3}}{\omega} \rightarrow \frac{2}{5 \cdot \pi} \quad L_3 = 0.127$$

$$C_2 := \frac{1}{\omega \cdot X_{C2}} \rightarrow \frac{1}{1500 \cdot \pi} \quad C_2 = 2.122 \times 10^{-4}$$

$$C_3 := \frac{1}{\omega \cdot X_{C3}} \rightarrow \frac{1}{2000 \cdot \pi} \quad C_3 = 1.592 \times 10^{-4}$$

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

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

Знаходимо нулі:

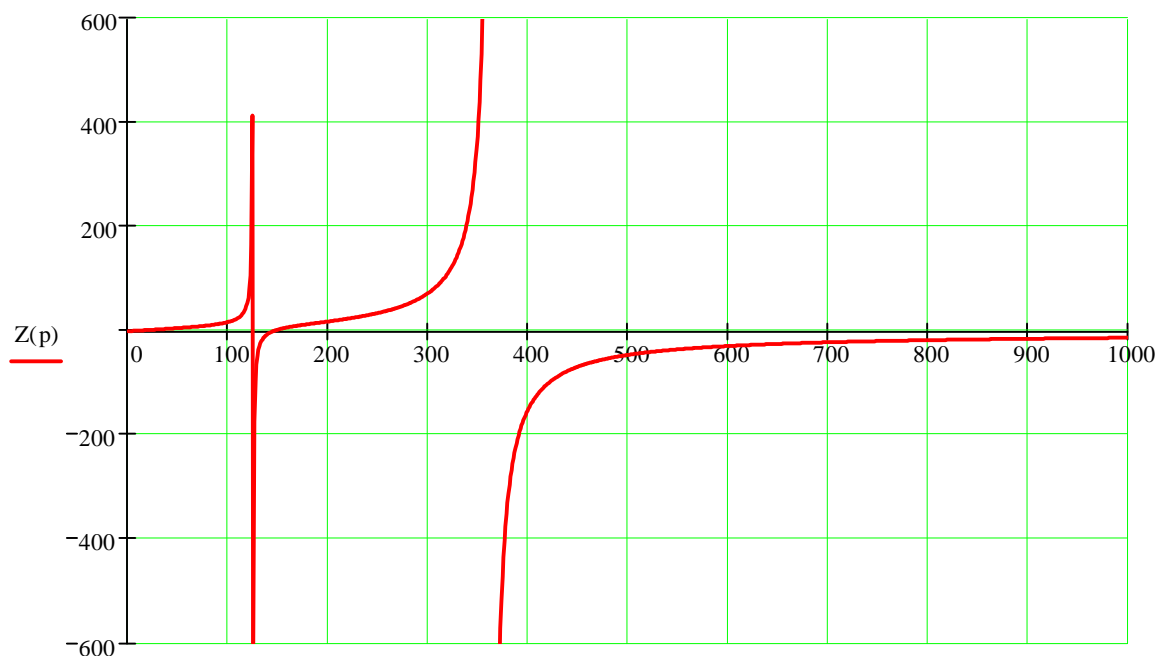
$$\omega := Z(p) \left| \begin{array}{l} \text{solve, p} \\ \text{float, 11} \end{array} \right. \rightarrow \begin{pmatrix} 0 \\ 145.42748120 \\ -145.42748120 \end{pmatrix} \quad \omega = \begin{pmatrix} 0 \\ 145.427 \\ -145.427 \end{pmatrix}$$

$$\omega := (\omega_0 \ \omega_1) \quad \omega = (0 \ 145.427 \ -145.427)$$

Знаходимо полюси:

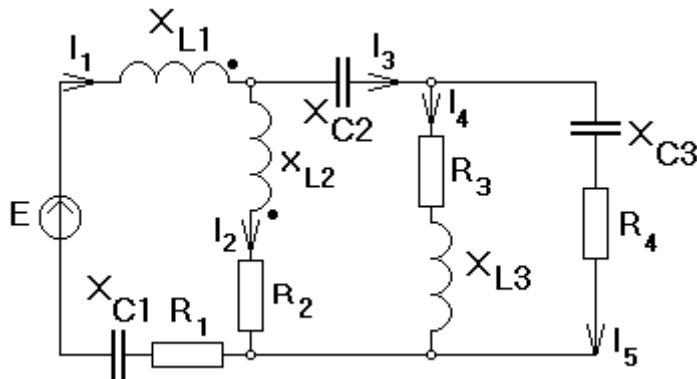
$$\omega_1 := \frac{1}{Z(p)} \left| \begin{array}{l} \text{solve, p} \\ \text{float, 11} \end{array} \right. \rightarrow \begin{pmatrix} 363.67878290 \\ -363.67878290 \\ 125.62566970 \\ -125.62566970 \end{pmatrix} \quad \omega_1 = \begin{pmatrix} 363.679 \\ -363.679 \\ 125.626 \\ -125.626 \end{pmatrix}$$

$$\omega_1 := \begin{pmatrix} \omega_{10} \\ \omega_{12} \end{pmatrix} \quad \omega_1 = \begin{pmatrix} 363.679 \\ 125.626 \end{pmatrix}$$



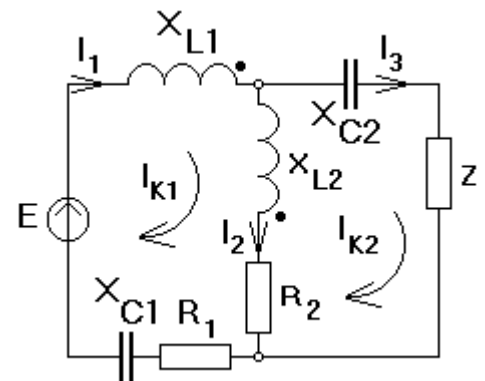
При наявності магнітного зв'язку між індуктивними елементами

- 1) Перетворити схему до двох незалежних контурів, розрахувати струми у всіх вітках методом контурних струмів, визначити покази вольтметра;
- 2) Перевірити правильність розрахунків за балансом потужностей, визначити активну і реактивну потужності магнітного зв'язку;
- 3) Побудувати сімисну векторну діаграму струмів та топографічну діаграму напруг



$$Z := \frac{(R_4 - i \cdot X_{C3}) \cdot (R_3 + i \cdot X_{L3})}{R_4 + R_3 + i \cdot (X_{L3} - X_{C3})}$$

$$Z = 29.336 - 11.947i$$



$$Z_{11} := R_1 + R_2 + i \cdot (X_{L1} + 2 \cdot X_M - X_{C1} + X_{L2}) \rightarrow 16 + 95 \cdot i$$

$$Z_{12} := R_2 + i \cdot (X_{L2} + X_M) \rightarrow 9 + 55 \cdot i$$

$$Z_{22} := R_2 + i \cdot (X_{L2} - X_{C2}) + Z \text{ float, 7} \rightarrow 38.33607 + 8.053279 \cdot i$$

Given

$$I_{K1} \cdot Z_{11} - I_{K2} \cdot Z_{12} = U$$

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

$$\begin{pmatrix} I_{K1} \\ I_{K2} \end{pmatrix} := \text{Find}(I_{K1}, I_{K2}) \rightarrow \begin{pmatrix} .54121068203288255658 - 1.0629995553490059328 \cdot i \\ 1.6883057716882252284 + .17224494052081782085 \cdot i \end{pmatrix}$$

$$I_{K1} = 0.541 - 1.063i$$

$$I_{K2} = 1.688 + 0.172i$$

$$I_1 := I_{K1}$$

$$I_1 = 0.541 - 1.063i$$

$$F(I_1) = (1.193 \quad -63.018)$$

$$I_2 := I_{K1} - I_{K2}$$

$$I_2 = -1.147 - 1.235i$$

$$F(I_2) = (1.686 \quad -132.881)$$

$$I_3 := I_{K2}$$

$$I_3 = 1.688 + 0.172i$$

$$F(I_3) = (1.697 \quad 5.825)$$

$$I_4 := I_3 \cdot \frac{R_4 - i \cdot X_{C3}}{R_4 + R_3 + i \cdot (X_{L3} - X_{C3})}$$

$$I_4 = -0.022 - 1.296i$$

$$F(I_4) = (1.296 \quad -90.956)$$

$$I_5 := I_3 - I_4$$

$$I_5 = 1.71 + 1.468i$$

$$F(I_5) = (2.254 \quad 40.643)$$

Перевірка за першим законом Кіргофа:

$$I_1 - I_2 - I_3 = 0$$

$$I_3 - I_4 - I_5 = 0$$

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

Перевірка за другим законом Кіргофа:

$$-I_1 \cdot [R_1 + i \cdot (X_{L1} - X_{C1} + X_M)] + U - I_2 \cdot [R_2 + i \cdot (X_{L2} + X_M)] = 7.105 \times 10^{-15}$$

$$I_2 \cdot [R_2 + i \cdot (X_{L2} + X_M)] - I_4 \cdot (R_3 + i \cdot X_{L3}) - I_3 \cdot (-i \cdot X_{C2} - i \cdot X_M) = 7.419 \times 10^{-6} + 1.288i \times 10^{-6}$$

$$I_4 \cdot (R_3 + i \cdot X_{L3}) - I_5 \cdot (R_4 - i \cdot X_{C3}) = 7.105 \times 10^{-15} - 1.776i \times 10^{-15}$$

$$S_{M1} := I_1 \cdot \bar{I}_2 \cdot i \cdot X_M$$

$$S_{M1} = -37.758 + 13.845i$$

$$F(S_{M1}) = (40.216 \quad 159.863)$$

$$S_{M2} := \bar{I}_1 \cdot I_2 \cdot i \cdot X_M$$

$$S_{M2} = 37.758 + 13.845i$$

$$F(S_{M2}) = (40.216 \quad 20.137)$$

Перевірка за балансом потужностей

$$S_1 := U \cdot \bar{I}_1$$

$$S_1 = 120.024 + 77.998i$$

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

$$P = 120.024$$

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

$$Q := Q + S_{M1} + S_{M2}$$

$$Q = 77.998i$$

Будуємо сумісну векторну діаграму струмів та топографічну діаграму напруг

Знаходимо потенціали точок:

$$\phi_a := 0$$

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

$$\phi_b = -10.63 - 5.412i$$

$$F(\phi_b) = (11.928 \quad -153.018)$$

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

$$\phi_c = -6.842 - 12.853i$$

$$F(\phi_c) = (14.561 \quad -118.026)$$

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

$$\phi_d = -17.165 - 23.97i$$

$$F(\phi_d) = (29.483 \quad -125.607)$$

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

$$\phi_{e'} = 4.095 - 13.146i$$

$$F(\phi_{e'}) = (13.769 \quad -72.7)$$

$$\phi_e := \phi_{e'} + I_2 \cdot i \cdot X_{L2}$$

$$\phi_e = 47.328 - 53.294i$$

$$F(\phi_e) = (71.276 \quad -48.393)$$

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

$$\phi_{1''} = 72.033 - 76.236i$$

$$F(\phi_{1''}) = (104.884 \quad -46.624)$$

$$\phi_1 := \phi_{1''} + I_1 \cdot i \cdot X_{L1}$$

$$\phi_1 = 103.923 - 60i$$

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

$$\phi_{1'} := \phi_1 - U$$

$$\phi_{1'} = -7.105i \times 10^{-15}$$

$$\phi_f := \phi_c + I_3 \cdot \text{Re}(Z)$$

$$\phi_f = 42.687 - 7.8i$$

$$F(\phi_f) = (43.394 \quad -10.355)$$

$$\phi_m := \phi_f + I_3 \cdot i \cdot \text{Im}(Z)$$

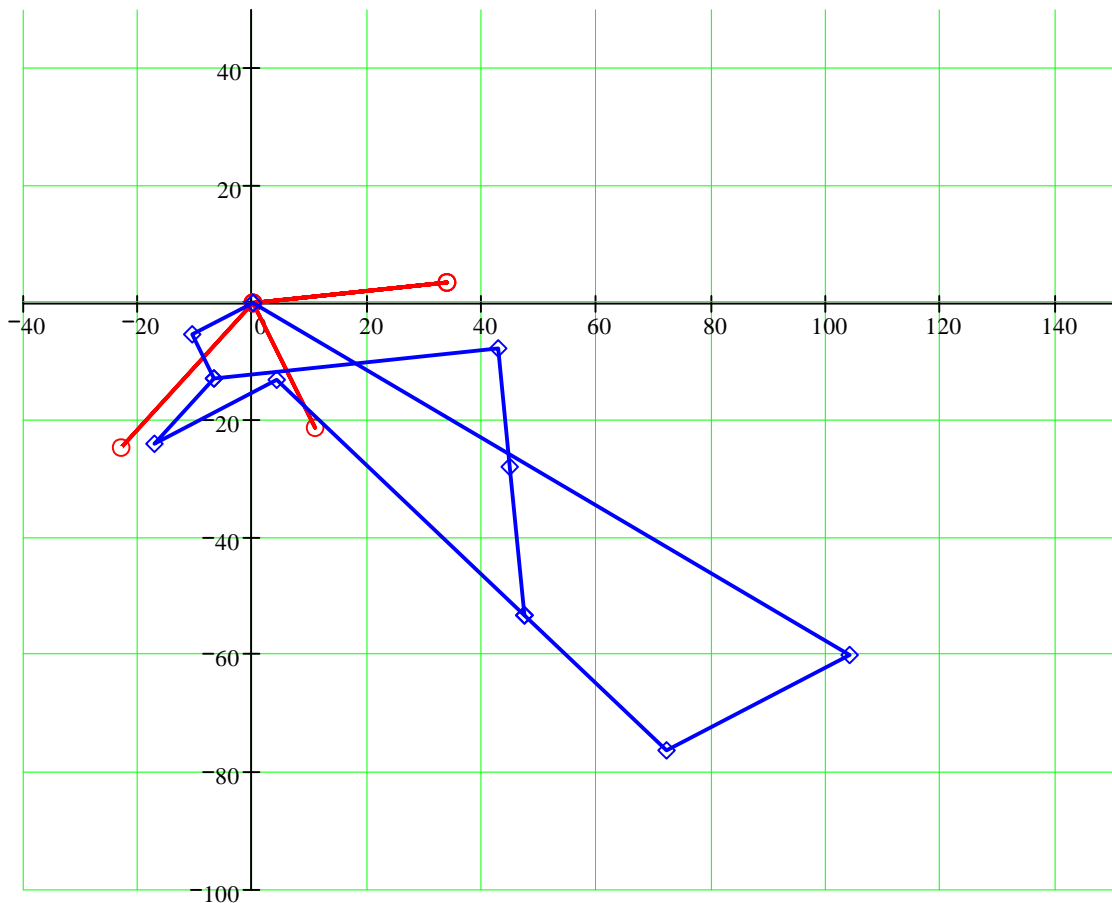
$$\phi_m = 44.744 - 27.97i$$

$$F(\phi_m) = (52.767 \quad -32.01)$$

$$\phi_e := \phi_m + I_3 \cdot (-i \cdot X_{C2})$$

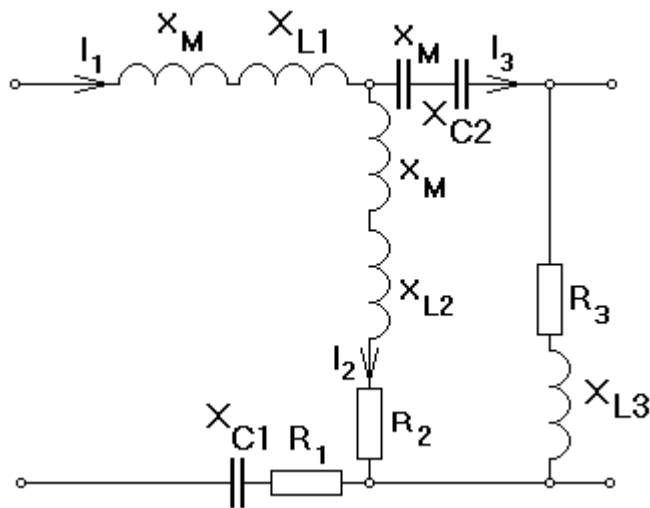
$$\phi_e = 47.328 - 53.294i$$

$$F(\phi_e) = (71.276 \quad -48.393)$$



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":

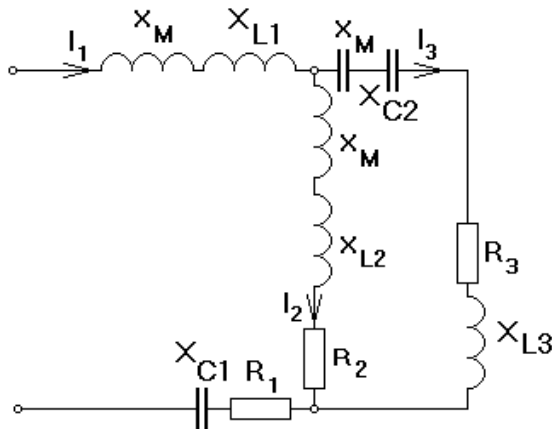
1) Розрахувати коефіцієнти чотириполіусника A, B, C, D



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

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

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



$$Z_1 := R_1 + i \cdot (X_{L1} + X_M - X_{C1}) \rightarrow 7 + 40 \cdot i$$

$$Z_2 := R_2 + i \cdot (X_{L2} + X_M) \rightarrow 9 + 55 \cdot i$$

$$Z_3 := R_3 + i \cdot (X_{L3} - X_{C2} - X_M) \rightarrow 11 + 5 \cdot i$$

$$Z_{10} := \frac{Z_2 \cdot Z_3}{Z_2 + Z_3} + Z_1 \quad Z_{10} = 15.87 + 45.89i$$

$$Z_{20} := \frac{Z_1 \cdot Z_2}{Z_1 + Z_2} \cdot 6Z_3 \quad Z_{20} = -434.605 + 1.647i \times 10^3$$

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

$$I_{10} = -0.468 - 2.427i$$

$$F(I_{10}) = (2.471 \quad -100.923)$$

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

$$I_{30} = -0.068 - 2.177i$$

$$F(I_{30}) = (2.178 \quad -91.782)$$

$$U_{20} := I_{30} \cdot (R_3 + i \cdot X_{L3}) \quad U_{20} = 86.322 - 26.652i$$

$$F(U_{20}) = (90.343 \quad -17.158)$$

$$A := \frac{U_{10}}{U_{20}}$$

$$A = 1.295 - 0.295i$$

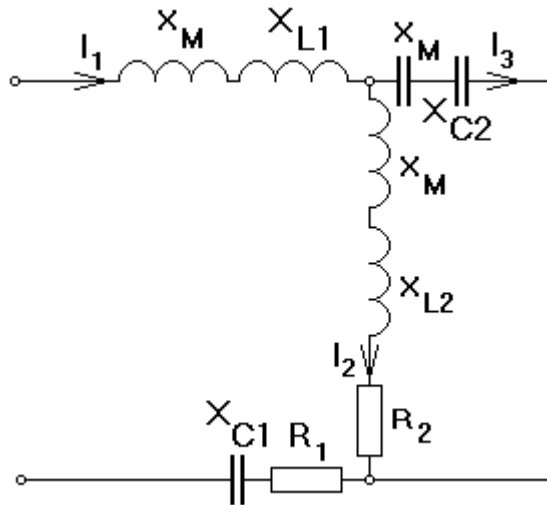
$$F(A) = (1.328 \quad -12.842)$$

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

$$C = 2.971 \times 10^{-3} - 0.027i$$

$$F(C) = (0.027 \quad -83.765)$$

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



$$Z_1 := R_1 + i \cdot (X_{L1} + X_M - X_{C1}) \rightarrow 7 + 40 \cdot i$$

$$Z_2 := R_2 + i \cdot (X_{L2} + X_M) \rightarrow 9 + 55 \cdot i$$

$$Z_3 := -i \cdot (X_{C2} + X_M) \rightarrow -35 \cdot i$$

$$Z_K := \frac{Z_2 \cdot Z_3}{Z_2 + Z_3} + Z_1 \quad Z_K = 29.921 - 45.936i$$

$$I_{1K} := \frac{U_K}{Z_K} \quad I_{1K} = 1.952 + 0.991i \quad F(I_{1K}) = (2.189 \quad 26.921)$$

$$I_{3K} := I_{1K} \cdot \frac{Z_2}{Z_2 + Z_3} \quad I_{3K} = 4.143 + 3.712i \quad F(I_{3K}) = (5.562 \quad 41.855)$$

$$B := \frac{U_K}{I_{3K}} \quad B = 6.718 - 20.501i \quad F(B) = (21.573 \quad -71.855)$$

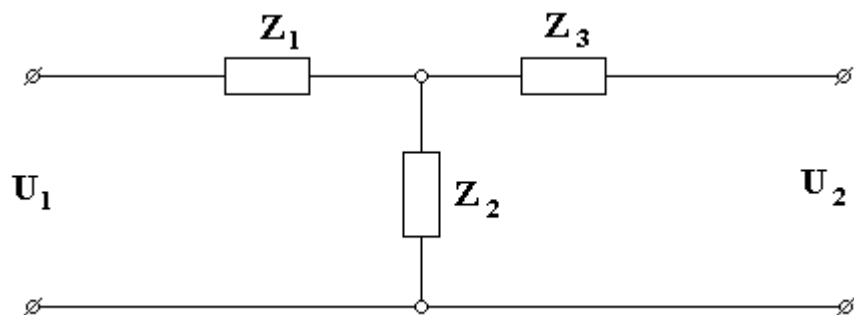
$$D := \frac{I_{1K}}{I_{3K}} \quad D = 0.38 - 0.101i \quad F(D) = (0.394 \quad -14.934)$$

Перевірка $A \cdot D - B \cdot C = 1$

$$F(A) = (1.328 \quad -12.842) \quad F(B) = (21.573 \quad -71.855)$$

$$F(C) = (0.027 \quad -83.765) \quad F(D) = (0.394 \quad -14.934)$$

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



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

$$Z_1 = 11.9 + 9.55i$$

$$F(Z_1) = (15.258 \quad 38.748)$$

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

$$Z_2 = 3.97 + 36.34i$$

$$F(Z_2) = (36.556 \quad 83.765)$$

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

$$Z_3 = 1.225 - 22.925i$$

$$F(Z_3) = (22.958 \quad -86.941)$$

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

$$R_1 = 11.9$$

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

$$R_2 = 3.97$$

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

$$R_3 = 1.225$$

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

$$X_2 := \operatorname{Im}(Z_2) \quad X_3 := -\operatorname{Im}(Z_3)$$

$$X_1 = 9.55$$

$$X_2 = 36.34$$

$$X_3 = 22.925$$

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

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

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

$$L_1 = 0.03$$

$$L_2 = 0.116$$

$$C_3 = 1.388 \times 10^{-4}$$