

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

Розрахунково-графічна робота
“Розрахунок однофазного кола синусоїдного струму”
Варіант № 211

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 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, 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 чотирьохполосника **A, B, C, D**;

3.2 Розрахувати параметри R, L, C віток схеми ("Т" чи "П") заміщення.

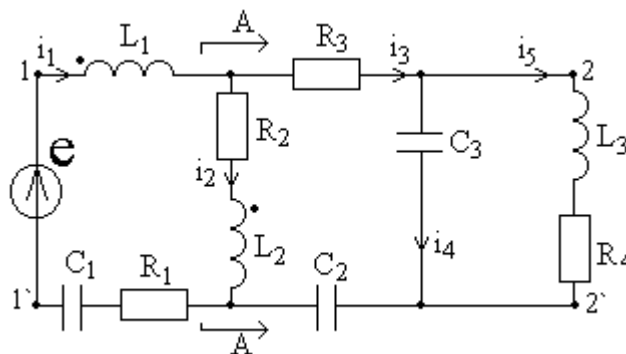
$$E := 120 \quad \psi := -30 \quad R_1 := 7 \quad R_2 := 9 \quad R_3 := 11 \quad R_4 := 13 \quad X_{L1} := 30 \quad X_{L2} := 35 \quad X_{L3} := 40$$

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

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

$$U = 103.923 - 60i$$

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



Символічний метод

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

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

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

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

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

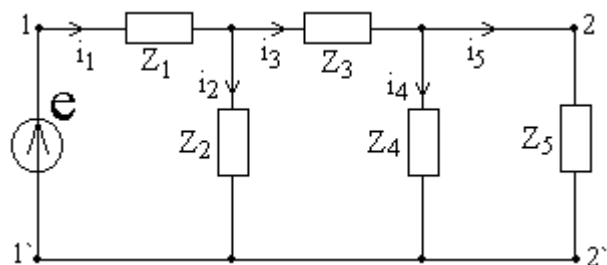
$$Z_1 = 7 + 20i$$

$$Z_2 = 9 + 35i$$

$$Z_3 = 11 - 15i$$

$$Z_4 = -20i$$

$$Z_5 = 13 + 40i$$



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

$$Z_{345} = 20.139 - 49.06i$$

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

$$Z_E = 56.308 + 52.828i$$

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

$$I_1 = 0.45 - 1.488i$$

$$F(I_1) = (1.554 \quad -73.174)$$

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

$$I_2 = -1.081 - 2.307i$$

$$F(I_2) = (2.548 \quad -115.098)$$

$$I_3 := I_1 - I_2$$

$$I_3 = 1.53 + 0.819i$$

$$F(I_3) = (1.736 \quad 28.163)$$

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

$$I_4 = 2.232 + 2.095i$$

$$F(I_4) = (3.061 \quad 43.183)$$

$$I_5 := I_3 - I_4$$

$$I_5 = -0.702 - 1.275i$$

$$F(I_5) = (1.456 \quad -118.813)$$

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 :

$$S_r := U \cdot I_1$$

$$S_r = 136.013 + 127.608i$$

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

$$P = 136.013$$

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

$$Q = 127.608i$$

Знаходимо покази вольтметра: $V := |-I_2 \cdot R_2 + I_3 \cdot R_3 + I_5 \cdot i \cdot X_{L3}|$ $V = 77.594$

$$V := |I_2 \cdot i \cdot X_{L2} - I_3 \cdot (-j \cdot X_{C2}) - I_5 \cdot R_4|$$
 $V = 77.594$

Будуємо сумісну векторну діаграму струмів та топографічну діаграму напруг

Визначимо потенціали всіх точок позначених на схемі:

$$\phi_a := 0$$

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

$$\phi_b = -14.877 - 4.499i$$

$$F(\phi_b) = (15.542 \quad -163.174)$$

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

$$\phi_c = -11.727 - 14.913i$$

$$F(\phi_c) = (18.971 \quad -128.182)$$

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

$$\phi_d = 69.019 - 52.733i$$

$$F(\phi_d) = (86.859 \quad -37.381)$$

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

$$\phi_e = 59.293 - 73.497i$$

$$F(\phi_e) = (94.432 \quad -51.105)$$

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

$$\phi_1 = 103.923 - 60i$$

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

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

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

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

$$\phi_k = 0.563 - 37.87i$$

$$F(\phi_k) = (37.874 \quad -89.148)$$

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

$$\phi_z = 42.458 - 82.51i$$

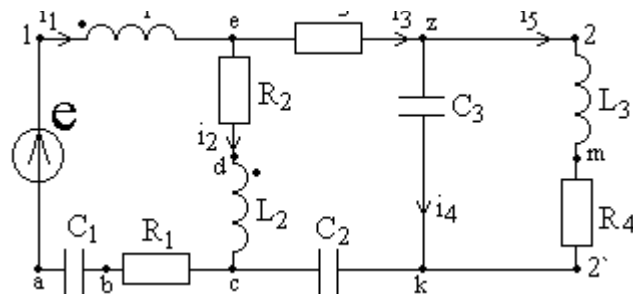
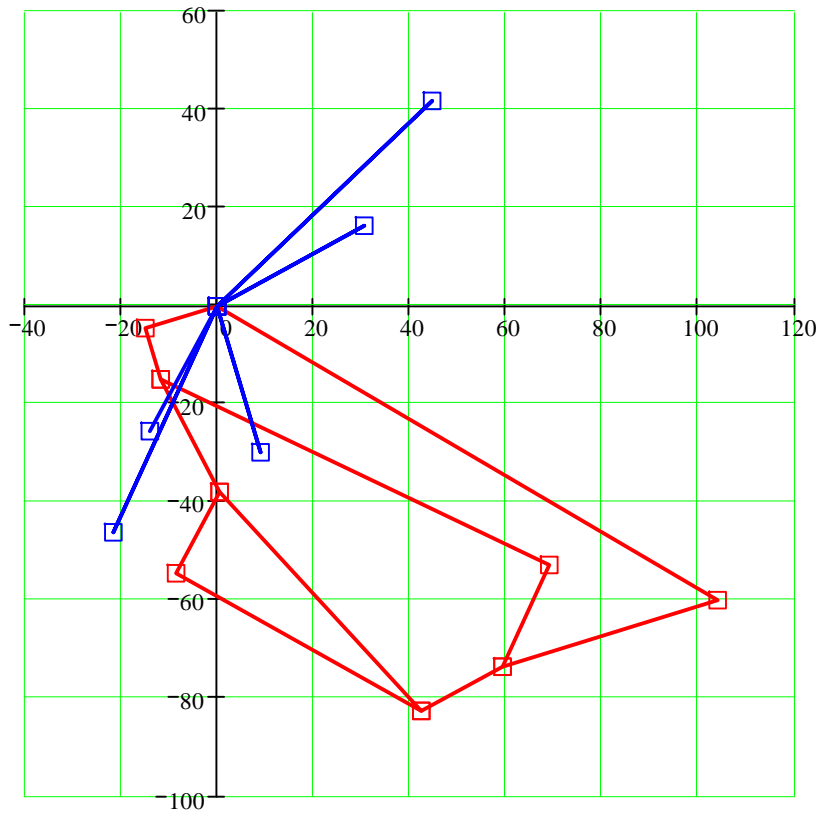
$$F(\phi_z) = (92.793 \quad -62.771)$$

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

$$\phi_m = -8.556 - 54.45i$$

$$F(\phi_m) = (55.118 \quad -98.931)$$

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.

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

$$Z_3 = -15i$$

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

$$Z_4 = 11 + 40i$$

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

$$Z_5 = 13 - 20i$$

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

$$Z_E = 29.336 - 26.947i$$

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

$$R_E = 29.336$$

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

$$X_E = -26.947$$

Умова резонансу струмів на ділянці "ab" :

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

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

$$B_2 = 0.017$$

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

$$X_2 = 58.884$$

Додатний знак свідчить про індуктивний характер опору

Розрахувати струми для резонансного стану кола

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

$$Z_{345} := \frac{Z_5 \cdot Z_4}{Z_5 + Z_4} + Z_3 \quad Z_{345} = 20.139 - 49.06i$$

Вхідний опір кола:

$$\begin{aligned} Z_{VX}(X_N) &:= \frac{Z_{345} \cdot i \cdot X_N}{Z_{345} + i \cdot X_N} + Z_1 \rightarrow \left(\frac{27915}{569} + \frac{11459}{569} \cdot i \right) \cdot \frac{X_N}{\left(\frac{11459}{569} - \frac{27915}{569} \cdot i + i \cdot X_N \right)} + 7 + 20 \cdot i \\ Z_{VX}(X_N) &\left| \begin{array}{l} \text{complex} \\ \text{simplify} \end{array} \right. \rightarrow \frac{-\left(390810 \cdot X_N - 15442 \cdot X_N^2 - 11201918 - 483674 \cdot i \cdot X_N + 16535 \cdot i \cdot X_N^2 - 32005480 \cdot i \right)}{\left(1600274 - 55830 \cdot X_N + 569 \cdot X_N^2 \right)} \end{aligned}$$

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

$$X_{VX}(X_N) := \text{Im}(Z_{VX}(X_N)) \left| \begin{array}{l} \text{complex} \\ \text{simplify} \end{array} \right. \rightarrow \frac{-\left(-483674 \cdot X_N + 16535 \cdot X_N^2 - 32005480 \right)}{\left(1600274 - 55830 \cdot X_N + 569 \cdot X_N^2 \right)}$$

Нулі функції (уявної частини вхідного опору) дорівнюють:

$$X_N := X_{VX}(X_N) \left| \begin{array}{l} \text{solve, } X_N \\ \text{float, } 50 \end{array} \right. \rightarrow \left(\begin{array}{l} 60.988821654374607410080008017449464682122342052387 \\ -31.737294590570555399194008622227208861136554329375 \end{array} \right)$$

Отже резонанс кола неможливий при будь-яких опорах у другій вітці, так як: $X_N = \begin{pmatrix} 60.989 \\ -31.737 \end{pmatrix}$

$$X_n := X_{N0} \quad X_n = 60.989 \quad Z_{VX}(X_n) = 143.727$$

$$I_1 := \frac{U}{Z_{VX}(X_n)} \quad I_1 = 0.723 - 0.417i \quad F(I_1) = (0.835 \quad -30)$$

$$I_2 := I_1 \cdot \frac{Z_{345}}{Z_{345} + i \cdot X_n} \quad I_2 = -1.173 - 1.484i \quad F(I_2) = (1.892 \quad -128.322)$$

$$I_3 := I_1 - I_2 \quad I_3 = 1.896 + 1.067i \quad F(I_3) = (2.175 \quad 29.36)$$

$$I_4 := I_3 \cdot \frac{Z_5}{Z_4 + Z_5} \quad I_4 = 2.742 + 2.683i \quad F(I_4) = (3.836 \quad 44.38)$$

$$I_5 := I_3 - I_4 \quad I_5 = -0.846 - 1.616i \quad F(I_5) = (1.824 \quad -117.616)$$

$$S_1 := U \cdot \overline{I_1} \quad S_1 = 100.19$$

$$P := \left(|I_1| \right)^2 \cdot R_1 + \left(|I_3| \right)^2 \cdot R_3 + \left(|I_5| \right)^2 \cdot R_4 \quad P = 100.19$$

$$Q := \left(|I_1| \right)^2 \cdot (X_{L1} - X_{C1}) + \left(|I_2| \right)^2 \cdot X_n + \left(|I_3| \right)^2 \cdot (-X_{C2}) + \left(|I_4| \right)^2 \cdot (-X_{C3}) + \left(|I_5| \right)^2 \cdot X_{L3} \quad Q = 8.527 \times 10^{-14}$$

$$\text{При } X_n := X_{N_1} \quad X_n = -31.737 \quad Z_{VX}(X_n) = 9.926$$

$$I_1 := \frac{U}{Z_{VX}(X_n)} \quad I_1 = 10.47 - 6.045i \quad F(I_1) = (12.09 \quad -30)$$

$$I_2 := I_1 \cdot \frac{Z_{345}}{Z_{345} + i \cdot X_n} \quad I_2 = 7.155 - 2.844i \quad F(I_2) = (7.7 \quad -21.678)$$

$$I_3 := I_1 - I_2 \quad I_3 = 3.315 - 3.201i \quad F(I_3) = (4.608 \quad -43.996)$$

$$I_4 := I_3 \cdot \frac{Z_5}{Z_4 + Z_5} \quad I_4 = 7.108 - 3.936i \quad F(I_4) = (8.125 \quad -28.976)$$

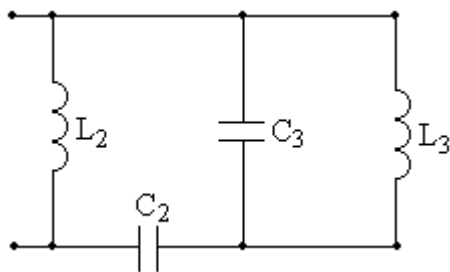
$$I_5 := I_3 - I_4 \quad I_5 = -3.793 + 0.735i \quad F(I_5) = (3.864 \quad 169.028)$$

$$S_1 := U \cdot \overline{I_1} \quad S_1 = 1.451 \times 10^3$$

$$P := (|I_1|)^2 \cdot R_1 + (|I_3|)^2 \cdot R_3 + (|I_5|)^2 \cdot R_4 \quad P = 1.451 \times 10^3$$

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

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



$$L_3 := \frac{X_{L3}}{\omega} \quad L_3 = 0.127$$

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

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

$$L_2 := \frac{X_{L2}}{\omega} \quad L_2 = 0.111$$

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

Знаходимо нулі: $Z(p) = 0$

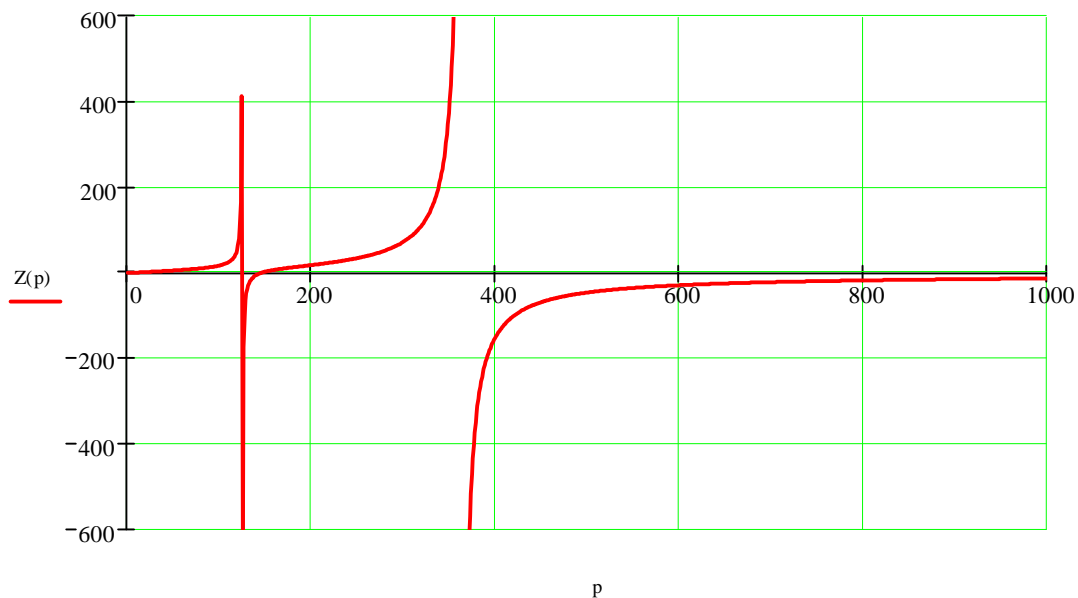
$$w_1 := Z(p) \left| \begin{array}{l} \text{solve, } p \\ \text{float, } 3 \end{array} \right. \rightarrow \begin{pmatrix} 0 \\ 145. \\ -145. \end{pmatrix}$$

$$w_1 := \begin{pmatrix} w_{10} \\ w_{11} \end{pmatrix} \quad w_1 = \begin{pmatrix} 0 \\ 145 \end{pmatrix}$$

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

$$w := \frac{1}{Z(p)} \left| \begin{array}{l} \text{solve, } p \\ \text{float, } 10 \end{array} \rightarrow \begin{pmatrix} 363.6787829 \\ -363.6787829 \\ 125.6256696 \\ -125.6256696 \end{pmatrix} \right.$$

$$w := \begin{pmatrix} w_0 \\ w_2 \end{pmatrix} \quad w = \begin{pmatrix} 363.679 \\ 125.626 \end{pmatrix}$$



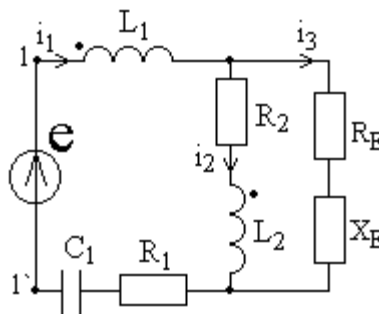
2. ПРИ НАЯВНОСТІ МАГНІТНОГО ЗВ'ЯЗКУ МІЖ ІНДУКТИВНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ L1 ТА L2 (ОДНОЙМЕННІ ПОЧАТКИ ПОЗНАЧЕНІ НА СХЕМІ ТОЧКАМИ):

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



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

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

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

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

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

$$Z_3 = 11 - 15i$$

$$Z_4 = -20i$$

$$Z_5 = 13 + 40i$$

$$Z_{345} = 20.139 - 49.06i$$

$$R_E = 20.139$$

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

$$X_E = -49.06$$

Знайдемо контурні та міжконтурні опори схеми:

$$\begin{aligned} Z_{11} &:= R_1 + R_2 + X_{L2} \cdot i + X_{L1} \cdot i - X_{C1} \cdot i + 2 \cdot X_M \cdot i & Z_{11} &= 16 + 95i \\ Z_{22} &:= R_E + X_E \cdot i + X_{L2} \cdot i + R_2 & Z_{22} &= 29.139 - 14.06i \\ Z_{12} &:= R_2 + X_{L2} \cdot i + X_M \cdot i & Z_{21} &:= Z_{12} \\ U &= 103.923 - 60i & F(U) &= (120 \quad -30) \end{aligned}$$

Given

$$\begin{aligned} I_1 \cdot (Z_{11}) - I_3 \cdot (Z_{12}) &= U \\ -I_1 \cdot (Z_{21}) + I_3 \cdot (Z_{22}) &= 0 \\ \begin{pmatrix} I_1 \\ I_3 \end{pmatrix} &:= \text{Find}(I_1, I_3) & I_2 &:= I_1 - I_3 & I_1 &= 0.216 - 0.747i & F(I_1) &= (0.777 \quad -73.88) \\ & & I_2 &= -0.913 - 1.468i & I_2 &= -0.913 - 1.468i & F(I_2) &= (1.729 \quad -121.865) \\ & & I_3 &= 1.128 + 0.721i & I_3 &= 1.128 + 0.721i & F(I_3) &= (1.339 \quad 32.584) \\ I_4 &:= I_3 \cdot \frac{Z_5}{Z_4 + Z_5} & I_4 &= 1.592 + 1.744i & I_4 &= 1.592 + 1.744i & F(I_4) &= (2.361 \quad 47.604) \\ I_5 &:= I_3 - I_4 & I_5 &= -0.464 - 1.023i & I_5 &= -0.464 - 1.023i & F(I_5) &= (1.123 \quad -114.392) \end{aligned}$$

Баланс потужностей електричного кола :

$$\begin{aligned} S_r &:= U \cdot \overline{I_1} & S_r &= 67.248 + 64.669i \\ P_r &:= \text{Re}(S_r) & P_r &= 67.248 & Q_r &:= \text{Im}(S_r) & Q_r &= 64.669 \\ S_{M1} &:= \overline{I_1} \cdot I_2 \cdot X_M \cdot i & S_{M1} &= 19.971 + 17.992i & F(S_{M1}) &= (26.88 \quad 42.015) \\ S_{M2} &:= \overline{I_2} \cdot I_1 \cdot X_M \cdot i & S_{M2} &= -19.971 + 17.992i & F(S_{M2}) &= (26.88 \quad 137.985) \\ S_{KC} &:= \left(|I_1| \right)^2 \cdot (X_{L1} \cdot i + R_1 - X_{C1} \cdot i) + \left(|I_2| \right)^2 \cdot (R_2 + X_{L2} \cdot i) + \left(|I_3| \right)^2 \cdot (R_E + X_E \cdot i) + S_{M1} + S_{M2} \\ S_{KC} &= 67.248 + 64.669i \end{aligned}$$

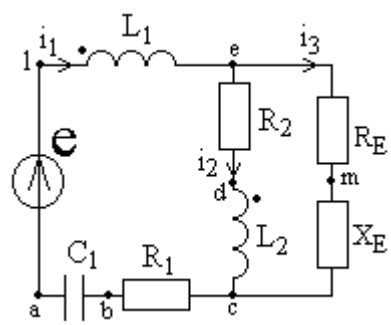
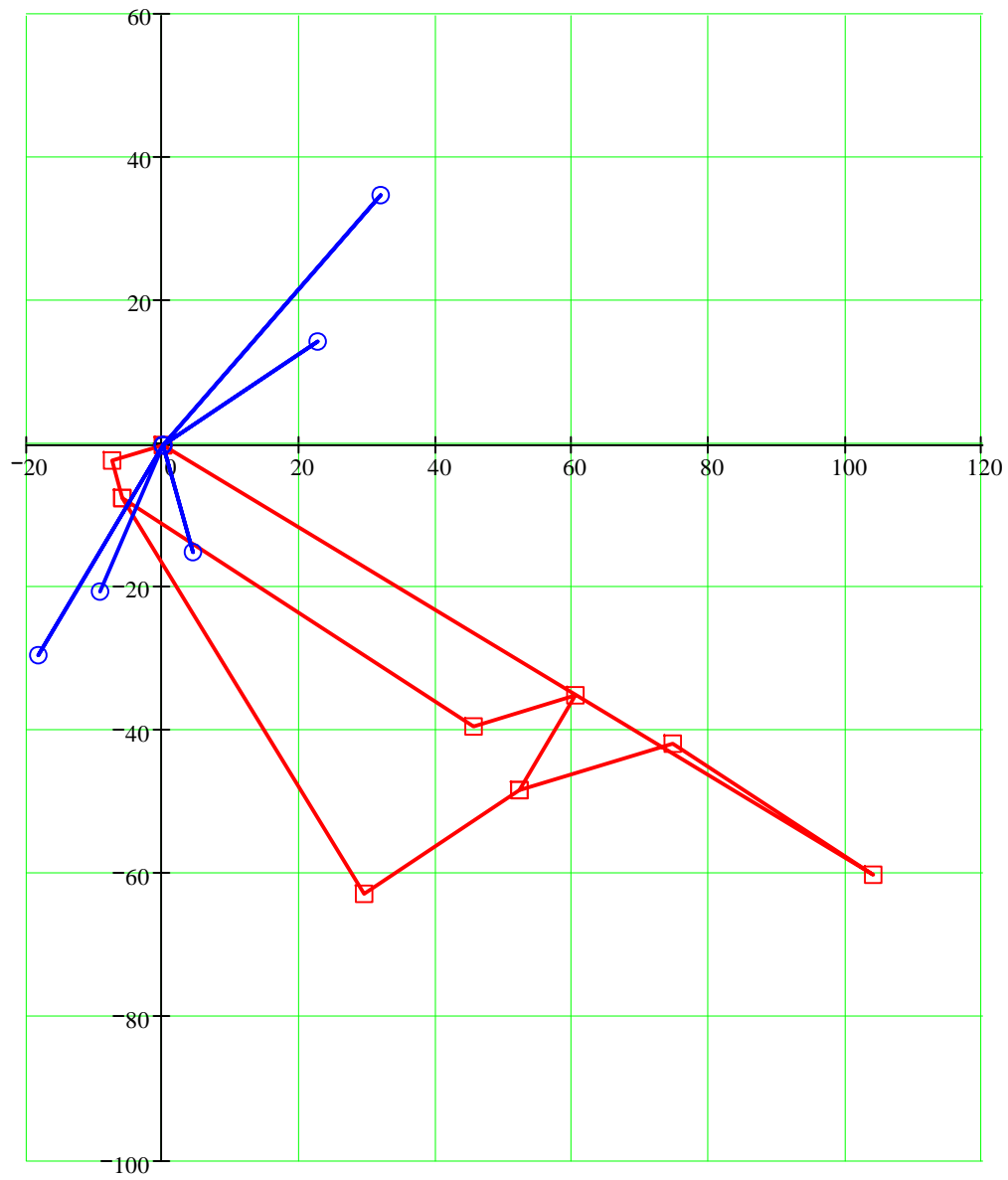
Знаходимо покази вольтметра:

$$\begin{aligned} V &:= \left| -I_2 \cdot (R_2 + X_M \cdot i) + I_3 \cdot (R_3 - X_M \cdot i) + I_5 \cdot (X_{L3} \cdot i) \right| & V &= 46.627 \\ V &:= \left| I_2 \cdot i \cdot (X_{L2}) - I_3 \cdot [-i \cdot (X_{C2})] - I_5 \cdot (R_4) \right| & V &= 46.627 \end{aligned}$$

Визначимо потенціали всіх точок позначених на схемі:

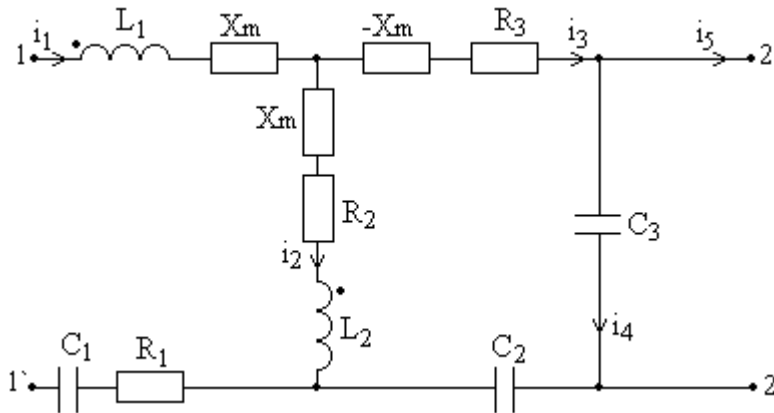
$$\begin{aligned} \phi_a &:= 0 \\ \phi_b &:= \phi_a + I_1 \cdot (-X_{C1} \cdot i) & \phi_b &= -7.469 - 2.159i & F(\phi_b) &= (7.775 \quad -163.88) \\ \phi_c &:= \phi_b + I_1 \cdot R_1 & \phi_c &= -5.958 - 7.387i & F(\phi_c) &= (9.49 \quad -128.888) \\ \phi_d &:= \phi_c + I_2 \cdot X_{L2} \cdot i & \phi_d &= 45.428 - 39.328i & F(\phi_d) &= (60.086 \quad -40.884) \\ \phi_{d'} &:= \phi_d + I_1 \cdot X_M \cdot i & \phi_{d'} &= 60.366 - 35.011i & F(\phi_{d'}) &= (69.784 \quad -30.113) \\ \phi_e &:= \phi_{d'} + I_2 \cdot R_2 & \phi_e &= 52.153 - 48.224i & F(\phi_e) &= (71.031 \quad -42.759) \\ \phi_1 &:= \phi_e + I_1 \cdot X_{L1} \cdot i & \phi_1 &= 74.56 - 41.748i & F(\phi_1) &= (85.452 \quad -29.246) \\ \phi_{1'} &:= \phi_1 + I_2 \cdot X_M \cdot i & \phi_{1'} &= 103.923 - 60i & F(\phi_{1'}) &= (120 \quad -30) \\ \phi_A &:= \phi_{1'} - U & \phi_A &= -5.684 \times 10^{-14} - 2.842i \times 10^{-14} & F(\phi_A) &= (6.355 \times 10^{-14} \quad -153.435) \\ \phi_m &:= \phi_c + I_3 \cdot X_E \cdot i & \phi_m &= 29.427 - 62.749i & F(\phi_m) &= (69.307 \quad -64.876) \\ \phi_e &:= \phi_m + I_3 \cdot R_E & \phi_e &= 52.153 - 48.224i & F(\phi_e) &= (71.031 \quad -42.759) \end{aligned}$$

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" :

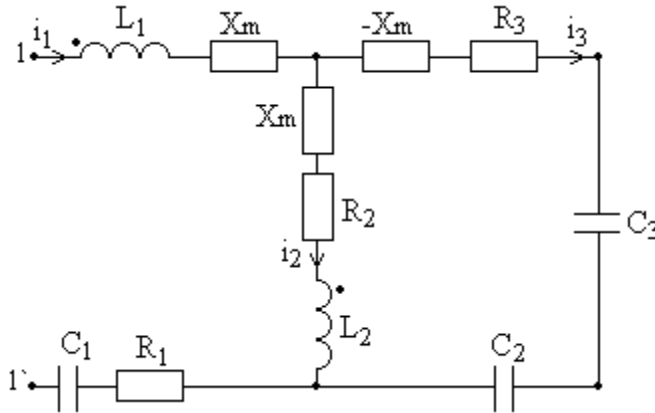
1) Розрахувати коефіцієнти чотириполюсника **A, B, C, D**



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

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

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



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

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

$$Z_3 := R_3 - j \cdot (X_M + X_{C3} + X_{C2}) \quad Z_3 = 11 - 55i$$

$$Z_{10} := \frac{Z_2 \cdot Z_3}{Z_2 + Z_3} + Z_1 \quad Z_{10} = 163.2 + 45.5i$$

$$Z_{20} := \frac{Z_1 \cdot Z_2}{Z_1 + Z_2} + Z_3 \quad Z_{20} = 14.942 - 31.841i$$

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

$$I_{10} = 0.496 - 0.506i$$

$$F(I_{10}) = (0.708 \quad -45.578)$$

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

$$I_{30} = 1.614 + 1.136i$$

$$F(I_{30}) = (1.974 \quad 35.128)$$

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

$$U_{20} = 22.713 - 32.284i$$

$$F(U_{20}) = (39.474 \quad -54.872)$$

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

$$A = 2.758 + 1.279i$$

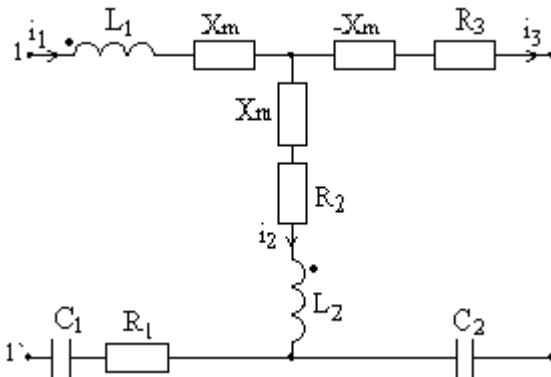
$$F(A) = (3.04 \quad 24.872)$$

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

$$C = 0.018 + 2.898i \times 10^{-3}$$

$$F(C) = (0.018 \quad 9.293)$$

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



$$Z_1 = 7 + 40i$$

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

$$Z_3 := R_3 - j \cdot (X_M + X_{C2}) \quad Z_3 = 11 - 35i$$

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

$$Z_K = 64.85 - 3.35i$$

$$I_{1K} := \frac{U_K}{Z_K} \quad I_{1K} = 1.646 - 0.84i \quad F(I_{1K}) = (1.848 \quad -27.043)$$

$$I_{2K} := I_{1K} \cdot \frac{Z_2}{Z_2 + Z_3} \quad I_{2K} = 3.6 + 0.549i \quad F(I_{2K}) = (3.641 \quad 8.664)$$

$$B := \frac{U}{I_{2K}} \quad B = 25.733 - 20.589i \quad F(B) = (32.956 \quad -38.664)$$

$$D := \frac{I_{1K}}{I_{2K}} \quad D = 0.412 - 0.296i \quad F(D) = (0.508 \quad -35.707)$$

Перевірка

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

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

$$U_2 := U_2 \cdot e^{j \cdot \phi_2 \cdot \frac{\pi}{180}} \quad F(U_2) = (100 \quad 30)$$

$$U_1 := A \cdot U_2 + B \cdot I_2 \quad U_1 = 200.657 + 228.042i \quad F(U_1) = (303.754 \quad 48.655)$$

$$I_1 := C \cdot U_2 + D \cdot I_2 \quad I_1 = 1.801 + 0.84i \quad F(I_1) = (1.987 \quad 25.011)$$

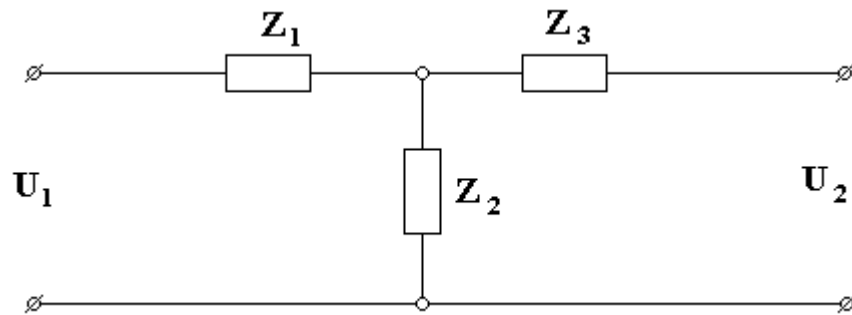
Перевірка:

$$U_2 := \frac{U_1 - B \cdot I_2}{A} \quad F(U_2) = (100 \quad 30)$$

$$U_2 := \frac{I_1 - I_2 \cdot D}{C} \quad F(U_2) = (100 \quad 30)$$

$$I_2 := \frac{U_1 - A \cdot U_2}{B} \quad F(I_2) = (1 \quad 4.457 \times 10^{-14})$$

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



$$Z_1 := \frac{A - 1}{C} \quad Z_1 = 108.2 + 54.5i \quad F(Z_1) = (121.151 \quad 26.734)$$

$$Z_2 := \frac{1}{C} \quad Z_2 = 9 + 55i \quad F(Z_2) = (55.731 \quad 80.707)$$

$$Z_3 := \frac{D - 1}{C} \quad Z_3 = -35 - 11i \quad F(Z_3) = (36.688 \quad -162.553)$$

$$R_1 := \operatorname{Re}(Z_1) \quad R_1 = 108.2 \quad R_2 := \operatorname{Re}(Z_2) \quad R_2 = 55 \quad R_3 := \operatorname{Re}(Z_3) \quad R_3 = -35$$

$$X_1 := \operatorname{Im}(Z_1) \quad X_1 = 54.5 \quad X_2 := -\operatorname{Im}(Z_2) \quad X_2 = 9 \quad X_3 := -\operatorname{Im}(Z_3) \quad X_3 = 11$$

$$L_1 := \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f} \quad C_2 := \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot X_2} \quad C_3 := \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot X_3}$$

$$L_1 = 3.183 \times 10^{-3} \quad C_2 = 3.537 \times 10^{-4} \quad C_3 = 2.894 \times 10^{-4}$$