

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

Розрахунково-графічна робота
“Розрахунок однофазного кола синусоїдного струму”
Варіант № 181

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

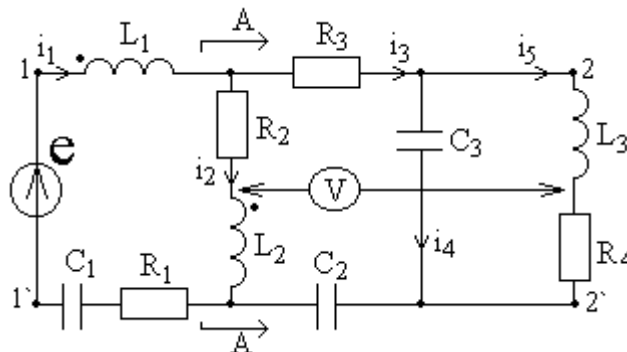
$$E := 100 \quad \psi := -20 \quad R_1 := 5 \quad R_2 := 7 \quad R_3 := 9 \quad R_4 := 12 \quad X_{L1} := 60 \quad X_{L2} := 50 \quad X_{L3} := 43$$

$$X_{C1} := 20 \quad X_{C2} := 15 \quad X_{C3} := 13 \quad X_M := 32 \quad f := 100$$

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

$$U = 93.969 - 34.202i$$

$$F(U) = (100 \quad -20)$$



Символічний метод

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

$$Z_1 = 5 + 40i$$

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

$$Z_2 = 7 + 50i$$

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

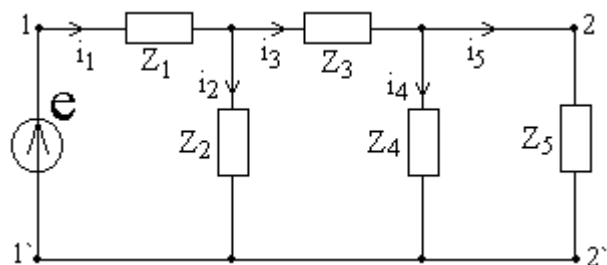
$$Z_3 = 9 - 15i$$

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

$$Z_4 = -13i$$

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

$$Z_5 = 12 + 43i$$



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

$$Z_{345} = 10.943 - 32.856i$$

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

$$Z_E = 63.923 + 1.375i$$

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

$$I_1 = 1.458 - 0.566i$$

$$F(I_1) = (1.564 \quad -21.232)$$

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

$$I_2 = -1.583 - 1.502i$$

$$F(I_2) = (2.183 \quad -136.508)$$

$$I_3 := I_1 - I_2$$

$$I_3 = 3.041 + 0.936i$$

$$F(I_3) = (3.182 \quad 17.103)$$

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

$$I_4 = 4.037 + 1.74i$$

$$F(I_4) = (4.396 \quad 23.311)$$

$$I_5 := I_3 - I_4$$

$$I_5 = -0.996 - 0.804i$$

$$F(I_5) = (1.28 \quad -141.096)$$

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 :

$$S_r := U \cdot I_1$$

$$S_r = 156.365 + 3.363i$$

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

$$P = 156.365$$

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

$$Q = 3.363i$$

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

$$V = 76.839$$

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

$$V = 76.839$$

Будуємо сумісну векторну діаграму струмів та топографічну діаграму напруг

Визначимо потенціали всіх точок позначених на схемі:

$$\phi_a := 0$$

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

$$\phi_b = -11.328 - 29.157i$$

$$F(\phi_b) = (31.28 \quad -111.232)$$

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

$$\phi_c = -4.039 - 31.989i$$

$$F(\phi_c) = (32.243 \quad -97.196)$$

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

$$\phi_d = 71.069 - 111.158i$$

$$F(\phi_d) = (131.935 \quad -57.407)$$

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

$$\phi_e = 59.985 - 121.673i$$

$$F(\phi_e) = (135.656 \quad -63.756)$$

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

$$\phi_1 = 93.969 - 34.202i$$

$$F(\phi_1) = (100 \quad -20)$$

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

$$\phi_A = -7.105i \times 10^{-15}$$

$$F(\phi_A) = (7.105 \times 10^{-15} \quad -90)$$

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

$$\phi_k = 9.997 - 77.607i$$

$$F(\phi_k) = (78.249 \quad -82.659)$$

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

$$\phi_z = 32.614 - 130.094i$$

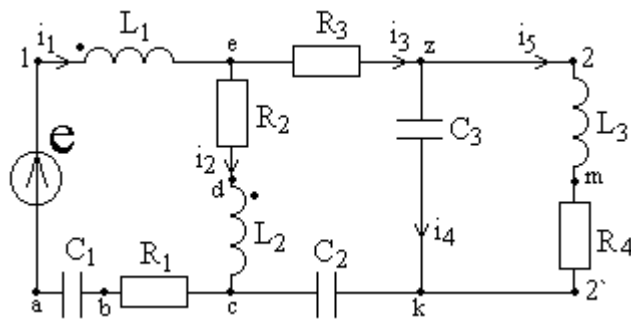
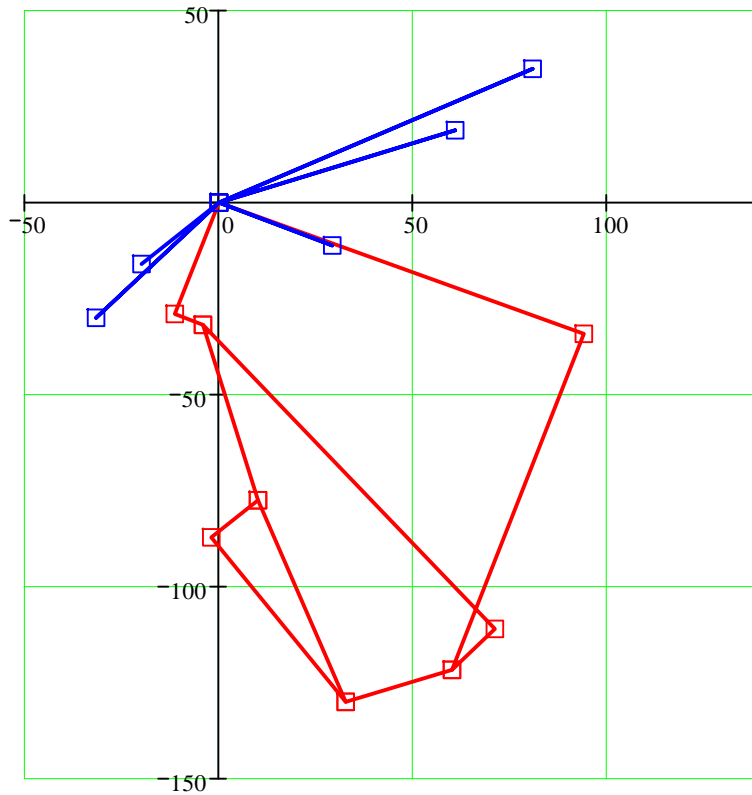
$$F(\phi_z) = (134.12 \quad -75.926)$$

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

$$\phi_m = -1.958 - 87.255i$$

$$F(\phi_m) = (87.277 \quad -91.285)$$

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.

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

$$Z_3 = -15i$$

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

$$Z_4 = 9 + 43i$$

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

$$Z_5 = 12 - 13i$$

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

$$Z_E = 19.371 - 23.673i$$

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

$$R_E = 19.371$$

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

$$X_E = -23.673$$

Умова резонансу струмів на ділянці "ab" :

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

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

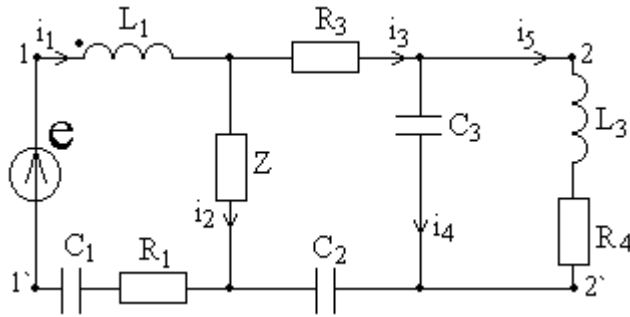
$$B_2 = 0.025$$

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

$$X_2 = 39.525$$

Додатний знак свідчить про індуктивний характер опору

Розрахувати струми для резонансного стану кола;



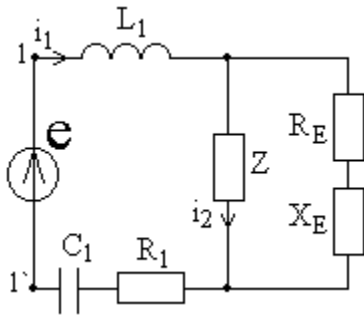
$$Z := \frac{(R_4 + X_{L3} \cdot i) \cdot (-X_{C3} \cdot i)}{R_4 + X_{L3} \cdot i - X_{C3} \cdot i} + R_3 - X_{C2} \cdot i$$

$$Z = 10.943 - 32.856i$$

$$Z = R_E - X_E \cdot i$$

$$R_E := \text{Re}(Z) \quad R_E = 10.943$$

$$X_E := |\text{Im}(Z)| \quad X_E = 32.856$$



За умовою резонансу: $B_X = B_E = \frac{-X_E}{R_E^2 + X_E^2}$

$$B_X := \frac{-X_E}{R_E^2 + X_E^2} \quad B_X = -0.027$$

Реактивний опір вітки: $X := \left| \frac{1}{B_X} \right| \quad X = 36.501$

Розрахувати струми для резонансного стану кола

$$Z_1 := R_1 + X_{L1} \cdot i - X_{C1} \cdot i \quad Z_1 = 5 + 40i$$

$$Z_3 := R_3 - X_{C2} \cdot i \quad Z_3 = 9 - 15i$$

$$Z_4 := -X_{C3} \cdot i \quad Z_4 = -13i$$

$$Z_5 := R_4 + X_{L3} \cdot i \quad Z_5 = 12 + 43i$$

$$Z_{345} := \frac{Z_5 \cdot Z_4}{Z_5 + Z_4} + Z_3 \quad Z_{345} = 10.943 - 32.856i$$

Вхідний опір кола:

$$Z_{VX}(X_N) := \frac{Z_{345} \cdot i \cdot X_N}{Z_{345} + i \cdot X_N} + Z_1 \rightarrow \left(\frac{5717}{174} + \frac{952}{87} \cdot i \right) \cdot \frac{X_N}{\left(\frac{952}{87} - \frac{5717}{174} \cdot i + i \cdot X_N \right)} + 5 + 40 \cdot i$$

$$Z_{VX}(X_N) \left| \begin{array}{l} \text{complex} \\ \text{simplify} \end{array} \right. \rightarrow \frac{(-343020 \cdot X_N + 16644 \cdot X_N^2 + 6260225 - 1492115 \cdot i \cdot X_N + 7458 \cdot i \cdot X_N^2 + 50081800 \cdot i)}{(1252045 - 68604 \cdot X_N + 1044 \cdot X_N^2)}$$

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

$$X_{VX}(X_N) := \text{Im}(Z_{VX}(X_N)) \left| \begin{array}{l} \text{complex} \\ \text{simplify} \end{array} \right. \rightarrow \frac{(-1492115 \cdot X_N + 7458 \cdot X_N^2 + 50081800)}{(1252045 - 68604 \cdot X_N + 1044 \cdot X_N^2)}$$

Нулі функції (уявної частини вхідного опору) дорівнюють:

$$X_N := X_{VX}(X_N) \left| \begin{array}{l} \text{solve, } X_N \\ \text{float, } 50 \end{array} \right. \rightarrow \left(\begin{array}{l} 157.40811116769796751350364522673619679911588350169 \\ 42.660942197815574991189301944087080218851399952314 \end{array} \right)$$

$$\text{Отже резонанс кола можливий: } X_N = \left(\begin{array}{l} 157.408 \\ 42.661 \end{array} \right)$$

$$X_n := X_{N_0} \quad X_n = 157.408$$

$$Z_{VX}(X_n) = 22.343$$

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

$$I_1 = 4.206 - 1.531i$$

$$F(I_1) = (4.476 \quad -20)$$

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

$$I_2 = -1.237 - 0.074i$$

$$F(I_2) = (1.24 \quad -176.559)$$

$$I_3 := I_1 - I_2$$

$$I_3 = 5.443 - 1.456i$$

$$F(I_3) = (5.635 \quad -14.979)$$

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

$$I_4 = 7.694 - 1.187i$$

$$F(I_4) = (7.785 \quad -8.771)$$

$$I_5 := I_3 - I_4$$

$$I_5 = -2.251 - 0.269i$$

$$F(I_5) = (2.267 \quad -173.178)$$

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

$$S_1 = 447.561$$

$$P := (|I_1|)^2 \cdot R_1 + (|I_3|)^2 \cdot R_3 + (|I_5|)^2 \cdot R_4 \quad P = 447.561$$

$$Q := (|I_1|)^2 \cdot (X_{L1} - X_{C1}) + (|I_2|)^2 \cdot X_n + (|I_3|)^2 \cdot (-X_{C2}) + (|I_4|)^2 \cdot (-X_{C3}) + (|I_5|)^2 \cdot X_{L3} \quad Q = -1.705 \times 10^{-13}$$

$$\text{При } X_n := X_{N_1} \quad X_n = 42.661 \quad Z_{VX}(X_n) = 97.254$$

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

$$I_1 = 0.966 - 0.352i$$

$$F(I_1) = (1.028 \quad -20)$$

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

$$I_2 = -1.666 - 1.76i$$

$$F(I_2) = (2.424 \quad -133.441)$$

$$I_3 := I_1 - I_2$$

$$I_3 = 2.633 + 1.408i$$

$$F(I_3) = (2.986 \quad 28.139)$$

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

$$I_4 = 3.406 + 2.327i$$

$$F(I_4) = (4.125 \quad 34.348)$$

$$I_5 := I_3 - I_4$$

$$I_5 = -0.773 - 0.919i$$

$$F(I_5) = (1.201 \quad -130.059)$$

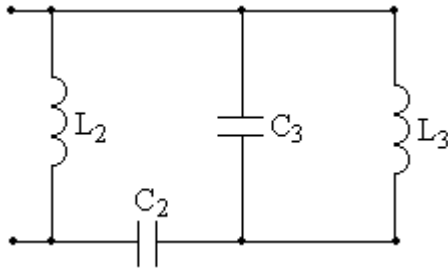
$$S_1 := U \cdot \overline{I_1}$$

$$S_1 = 102.823$$

$$P := (|I_1|)^2 \cdot R_1 + (|I_3|)^2 \cdot R_3 + (|I_5|)^2 \cdot R_4 \quad P = 102.823$$

$$Q := (|I_1|)^2 \cdot (X_{L1} - X_{C1}) + (|I_2|)^2 \cdot X_n + (|I_3|)^2 \cdot (-X_{C2}) + (|I_4|)^2 \cdot (-X_{C3}) + (|I_5|)^2 \cdot X_{L3} \quad Q = 7.816 \times 10^{-14}$$

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



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

Знаходимо нулі: $Z(p) = 0$

$$w_1 := Z(p) \left| \begin{array}{l} \text{solve, } p \\ \text{float, } 3 \end{array} \right. \rightarrow \begin{pmatrix} 0 \\ 252. \\ -252. \end{pmatrix}$$

$$w_1 := \begin{pmatrix} w_{10} \\ w_{11} \end{pmatrix} \quad w_1 = \begin{pmatrix} 0 \\ 252 \end{pmatrix}$$

закортити

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

$$L_3 = 0.068$$

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

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

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

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

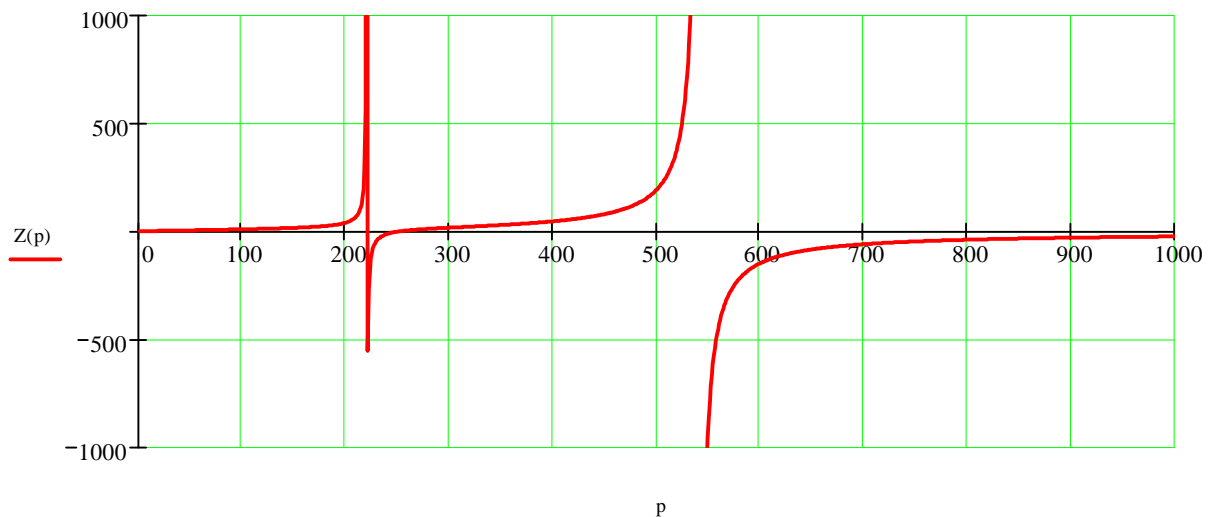
$$L_2 := \frac{X_{L2}}{\omega}$$

$$L_2 = 0.08$$

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

$$w := \frac{1}{Z(p)} \left| \begin{array}{l} \text{solve, } p \\ \text{float, } 10 \end{array} \right. \rightarrow \begin{pmatrix} 540.3954782 \\ -540.3954782 \\ 220.0118669 \\ -220.0118669 \end{pmatrix}$$

$$w := \begin{pmatrix} w_0 \\ w_2 \end{pmatrix} \quad w = \begin{pmatrix} 540.395 \\ 220.012 \end{pmatrix}$$



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

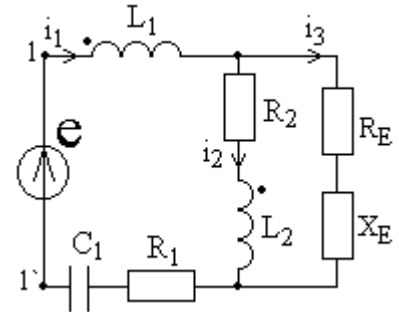
2.1. Перетворивши схему до двох незалежних контурів, розрахувати струми у всіх вітках схеми методом контурних струмів, визначити покази вольметра;

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

$$\begin{aligned} Z_3 &:= R_3 - X_{C2} \cdot i & Z_3 &= 9 - 15i \\ Z_4 &:= -X_{C3} \cdot i & Z_4 &= -13i \\ Z_5 &:= R_4 + X_{L3} \cdot i & Z_5 &= 12 + 43i \\ Z_{345} &:= \frac{Z_5 \cdot Z_4}{Z_5 + Z_4} + Z_3 & Z_{345} &= 10.943 - 32.856i \end{aligned}$$



$$R_E := \operatorname{Re}(Z_{345}) \quad R_E = 10.943 \quad X_E := \operatorname{Im}(Z_{345}) \quad X_E = -32.856$$

Знайдемо контурні та міжконтурні опори схеми:

$$\begin{aligned} Z_{11} &:= R_1 + R_2 + X_{L2} \cdot i + X_{L1} \cdot i - X_{C1} \cdot i + 2 \cdot X_M \cdot i & Z_{11} &= 12 + 154i \\ Z_{22} &:= R_E + X_E \cdot i + X_{L2} \cdot i + R_2 & Z_{22} &= 17.943 + 17.144i \\ Z_{12} &:= R_2 + X_{L2} \cdot i + X_M \cdot i & Z_{21} &:= Z_{12} & Z_{12} &= 7 + 82i \\ U &= 93.969 - 34.202i & F(U) &= (100 \quad -20) \end{aligned}$$

Given

$$\begin{aligned} I_1 \cdot (Z_{11}) - I_3 \cdot (Z_{12}) &= U \\ -I_1 \cdot (Z_{21}) + I_3 \cdot (Z_{22}) &= 0 \\ \begin{pmatrix} I_1 \\ I_3 \end{pmatrix} &:= \operatorname{Find}(I_1, I_3) & I_2 &:= I_1 - I_3 & I_1 &= 0.537 + 4.724i \times 10^{-3} & F(I_1) &= (0.537 \quad 0.504) \\ & & I_2 &= -0.787 - 1.185i & F(I_2) &= (1.422 \quad -123.615) \\ & & I_3 &= 1.324 + 1.189i & F(I_3) &= (1.78 \quad 41.929) \\ I_4 &:= I_3 \cdot \frac{Z_5}{Z_4 + Z_5} & I_4 &= 1.641 + 1.831i & F(I_4) &= (2.459 \quad 48.138) \\ I_5 &:= I_3 - I_4 & I_5 &= -0.317 - 0.642i & F(I_5) &= (0.716 \quad -116.269) \end{aligned}$$

Баланс потужностей електричного кола :

$$\begin{aligned} S_r &:= U \cdot \overline{I_1} & S_r &= 50.27 - 18.8i \\ P_r &:= \operatorname{Re}(S_r) & P_r &= 50.27 & Q_r &:= \operatorname{Im}(S_r) & Q_r &= -18.8 \\ S_{M1} &:= \overline{I_1} \cdot I_2 \cdot X_M \cdot i & S_{M1} &= 20.225 - 13.703i & F(S_{M1}) &= (24.43 \quad -34.119) \\ S_{M2} &:= \overline{I_2} \cdot I_1 \cdot X_M \cdot i & S_{M2} &= -20.225 - 13.703i & F(S_{M2}) &= (24.43 \quad -145.881) \\ S_{KC} &:= (|I_1|)^2 \cdot (X_{L1} \cdot i + R_1 - X_{C1} \cdot i) + (|I_2|)^2 \cdot (R_2 + X_{L2} \cdot i) + (|I_3|)^2 \cdot (R_E + X_E \cdot i) + S_{M1} + S_{M2} \\ S_{KC} &= 50.27 - 18.8i \end{aligned}$$

Знаходимо покази вольметра:

$$\begin{aligned} V &:= \left| -I_2 \cdot (R_2 + X_M \cdot i) + I_3 \cdot (R_3 - X_{C2} \cdot i) + I_5 \cdot (X_{L3} \cdot i) \right| & V &= 46.711 \\ V &:= \left| I_2 \cdot i \cdot (X_{L2}) - I_3 \cdot [-i \cdot (X_{C2})] - I_5 \cdot (R_4) \right| & V &= 46.711 \end{aligned}$$

Визначимо потенціали всіх точок позначених на схемі:

$$\phi_a := 0$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$\phi_b = 0.094 - 10.734i$$

$$\phi_c = 2.778 - 10.71i$$

$$\phi_{d'} = 62.009 - 50.085i$$

$$\phi_d = 61.857 - 32.911i$$

$$\phi_e = 56.345 - 41.203i$$

$$\phi_{1'} = 56.062 - 9.002i$$

$$\phi_1 = 93.969 - 34.202i$$

$$\phi_A = 1.421 \times 10^{-14} + 2.132i \times 10^{-14}$$

$$\phi_k = 20.618 - 30.573i$$

$$\phi_z = 44.427 - 51.907i$$

$$\phi_e = 56.345 - 41.203i$$

$$\phi_m = 16.815 - 38.279i$$

$$\phi_z = 44.427 - 51.907i$$

$$F(\phi_b) = (10.734 \quad -89.496)$$

$$F(\phi_c) = (11.064 \quad -75.459)$$

$$F(\phi_{d'}) = (79.709 \quad -38.928)$$

$$F(\phi_d) = (70.068 \quad -28.015)$$

$$F(\phi_e) = (69.803 \quad -36.177)$$

$$F(\phi_{1'}) = (56.78 \quad -9.123)$$

$$F(\phi_1) = (100 \quad -20)$$

$$F(\phi_A) = (2.562 \times 10^{-14} \quad 56.31)$$

$$F(\phi_k) = (36.875 \quad -56.005)$$

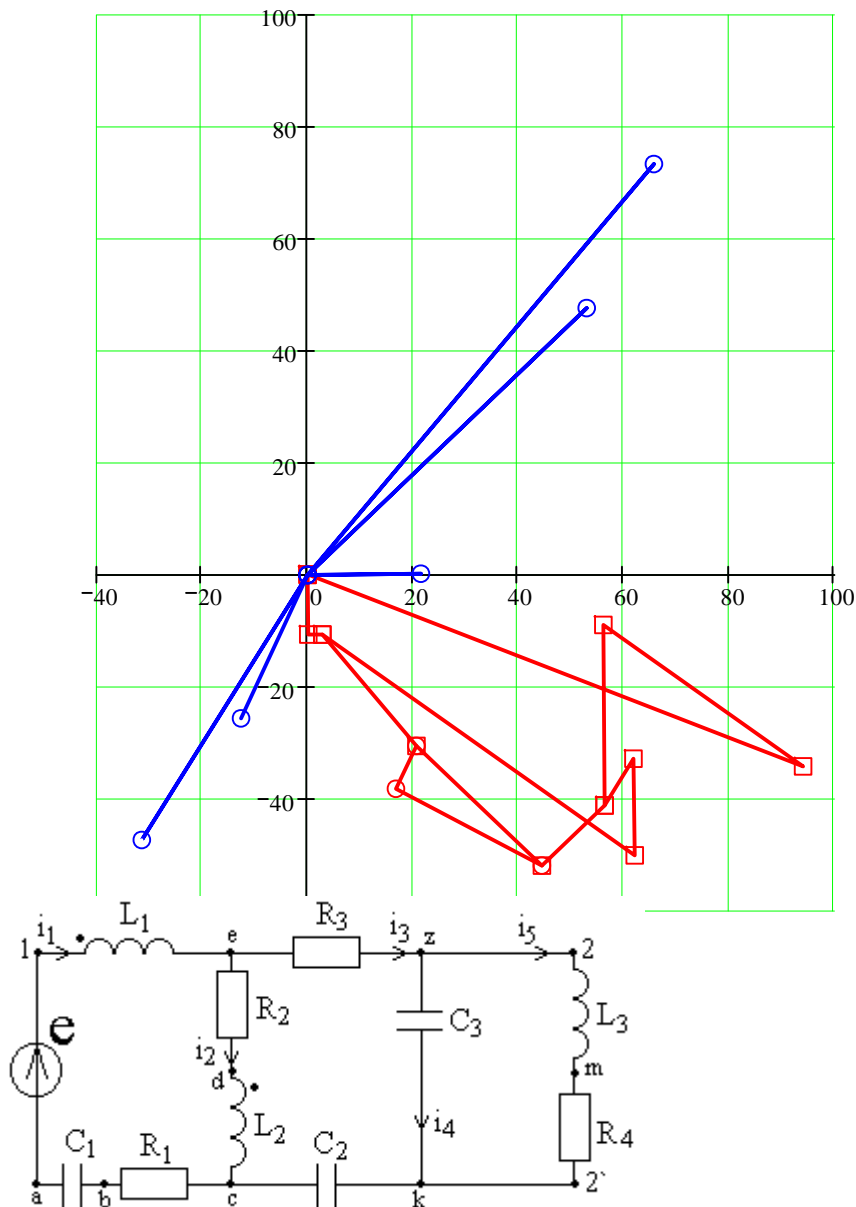
$$F(\phi_z) = (68.324 \quad -49.44)$$

$$F(\phi_e) = (69.803 \quad -36.177)$$

$$F(\phi_m) = (41.809 \quad -66.286)$$

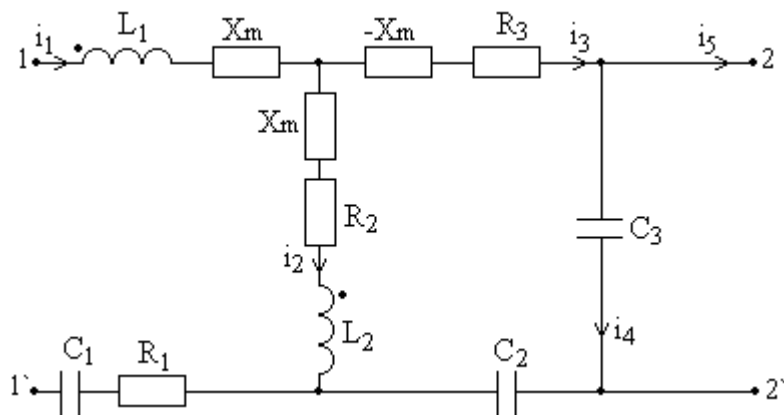
$$F(\phi_z) = (68.324 \quad -49.44)$$

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" :

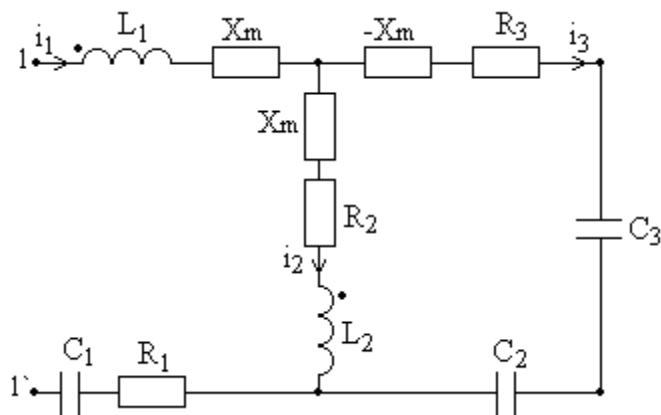
1) Розрахувати коефіцієнти чотириполюсника **A, B, C, D**



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

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

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



$$Z_1 := R_1 + j \cdot (X_{L1} + X_M - X_{C1}) \quad Z_1 = 5 + 72i$$

$$Z_2 := R_2 + j \cdot (X_{L2} + X_M) \quad Z_2 = 7 + 82i$$

$$Z_3 := R_3 - j \cdot (X_M + X_{C3} + X_{C2}) \quad Z_3 = 9 - 60i$$

$$Z_{10} := \frac{Z_2 \cdot Z_3}{Z_2 + Z_3} + Z_1 \quad Z_{10} = 122.195 - 69.268i$$

$$Z_{20} := \frac{Z_1 \cdot Z_2}{Z_1 + Z_2} + Z_3 \quad Z_{20} = 11.948 - 21.66i$$

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

$$I_{10} = 0.702 + 0.118i$$

$$F(I_{10}) = (0.712 \quad 9.547)$$

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

$$I_{30} = 1.633 + 1.404i$$

$$F(I_{30}) = (2.154 \quad 40.695)$$

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

$$U_{20} = 18.257 - 21.229i$$

$$F(U_{20}) = (28 \quad -49.305)$$

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

$$A = 3.114 + 1.748i$$

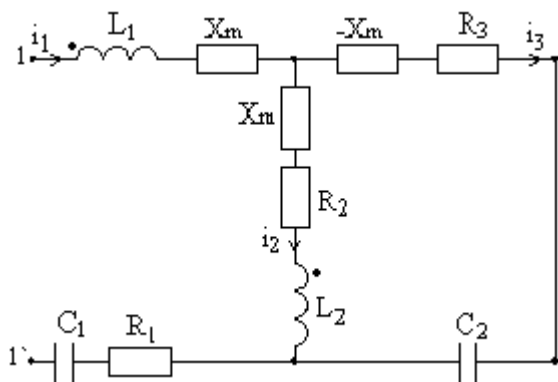
$$F(A) = (3.571 \quad 29.305)$$

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

$$C = 0.013 + 0.022i$$

$$F(C) = (0.025 \quad 58.852)$$

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



$$Z_1 = 5 + 72i$$

$$Z_2 := R_2 + j \cdot (X_{L2} + X_M) \quad Z_2 = 7 + 82i$$

$$Z_3 := R_3 - j \cdot (X_M + X_{C2}) \quad Z_3 = 9 - 47i$$

$$Z_K := \frac{Z_2 \cdot Z_3}{Z_2 + Z_3} + Z_1 \quad Z_K = 56.983 - 16.151i$$

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

$$I_{1K} = 1.684 - 0.123i$$

$$F(I_{1K}) = (1.688 \quad -4.176)$$

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

$$I_{2K} = 3.479 + 0.966i$$

$$F(I_{2K}) = (3.611 \quad 15.512)$$

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

$$B = 22.544 - 16.088i$$

$$F(B) = (27.696 \quad -35.512)$$

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

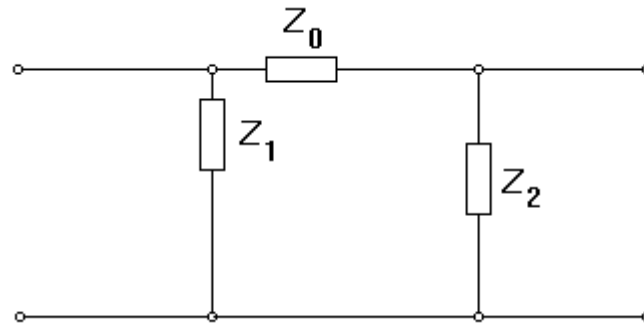
$$D = 0.44 - 0.158i$$

$$F(D) = (0.468 \quad -19.688)$$

Перевірка

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

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



$$Z_0 := B$$

$$Z_0 = 22.544 - 16.088i$$

$$F(Z_0) = (27.696 \quad -35.512)$$

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

$$Y_1 = -0.013 - 0.016i$$

$$F(Y_1) = (0.021 \quad -128.768)$$

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

$$Y_2 = 0.025 + 0.096i$$

$$F(Y_2) = (0.099 \quad 75.094)$$

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

$$R_0 = 22.544$$

$$X_{C0} := -\operatorname{Im}(Z_0)$$

$$X_{C0} = 16.088$$

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

$$Z_1 = -29.825 + 37.137i$$

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

$$R_1 = -29.825$$

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

$$X_{L1} = 37.137$$

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

$$Z_2 = 2.597 - 9.756i$$

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

$$R_2 = 2.597$$

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

$$X_{C2} = 9.756$$

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

$$L_1 = 0.059$$

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

$$C_2 = 1.631 \times 10^{-4}$$

$$C_0 := \frac{1}{\omega \cdot X_{C0}}$$

$$C_0 = 9.893 \times 10^{-5}$$