

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

Розрахунково-графічна робота
“Розрахунок однофазного кола синусоїдного струму”
Варіант № 308

Виконав: _____

Перевірив: _____

Київ 2006

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.

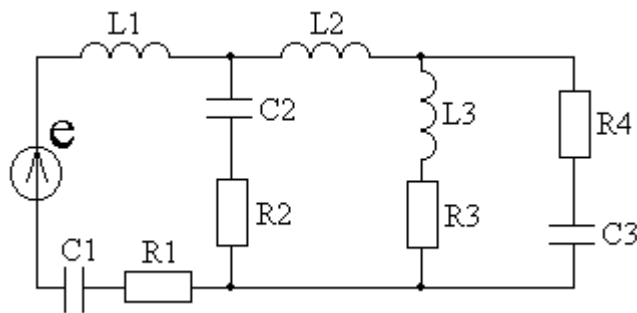
2. ПРИ НАЯВНОСТІ МАГНІТНОГО ЗВ'ЯЗКУ МІЖ ІНДУКТИВНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ L_1 ТА L_2 (ОДНОЙМЕННІ ПОЧАТКИ ПОЗНАЧЕНІ НА СХЕМІ ТОЧКАМИ):

- 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" :

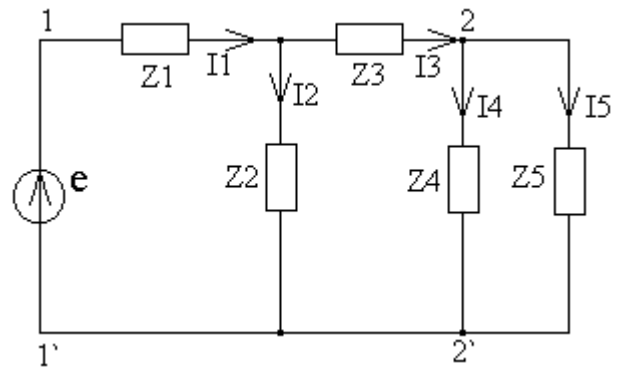
- 3.1. Розрахувати коефіцієнти А, В, С, D чотириполусника;
- 3.2. Розрахувати параметри R, L, C віток схеми заміщення.

$$\begin{aligned} E &:= 140 & \phi &:= -45 & R_1 &:= 9 & R_2 &:= 11 & R_3 &:= 13 & R_4 &:= 15 \\ X_{L1} &:= 37 & X_{L2} &:= 27 & X_{L3} &:= 20 & X_{C1} &:= 13 & X_{C2} &:= 10 & X_{C3} &:= 6 \\ X_M &:= 15 & f &:= 50 \end{aligned}$$



Символічний метод

$$\begin{aligned} Z_1 &:= R_1 + X_{L1} \cdot i - X_{C1} \cdot i & Z_1 &= 9 + 24i \\ Z_2 &:= R_2 - X_{C2} \cdot i & Z_2 &= 11 - 10i \\ Z_3 &:= X_{L2} \cdot i & Z_3 &= 27i \\ Z_4 &:= R_3 + X_{L3} \cdot i & Z_4 &= 13 + 20i \\ Z_5 &:= R_4 - X_{C3} \cdot i & Z_5 &= 15 - 6i \end{aligned}$$



$$Z_{345} := \frac{Z_5 \cdot Z_4}{Z_5 + Z_4} + Z_3 \quad Z_{345} = 12.171 + 28.843i$$

$$Z_E := \frac{Z_2 \cdot Z_{345}}{Z_2 + Z_{345}} + Z_1 \quad Z_E = 24.102 + 20.159i$$

$$E_C = 98.995 - 98.995i \quad F(E_C) = (140 \quad -45)$$

$$I_1 := \frac{E_C}{Z_E} \quad I_1 = 0.395 - 4.438i \quad F(I_1) = (4.456 \quad -84.909)$$

$$I_2 := I_1 \cdot \frac{Z_{345}}{Z_{345} + Z_2} \quad I_2 = 2.55 - 3.913i \quad F(I_2) = (4.67 \quad -56.906)$$

$$I_3 := I_1 - I_2 \quad I_3 = -2.155 - 0.525i \quad F(I_3) = (2.218 \quad -166.3)$$

$$I_4 := I_3 \cdot \frac{Z_5}{Z_4 + Z_5} \quad I_4 = -0.941 + 0.651i \quad F(I_4) = (1.145 \quad 145.333)$$

$$I_5 := I_3 - I_4 \quad I_5 = -1.213 - 1.176i \quad F(I_5) = (1.69 \quad -135.889)$$

Баланс потужностей електричного кола :

$$S_r := E_C \cdot \overline{I_1} \quad S_r = 478.485 + 400.202i$$

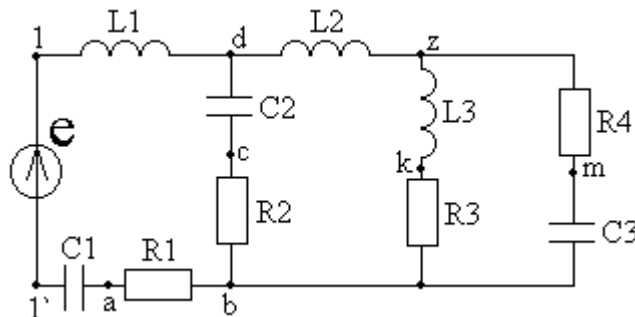
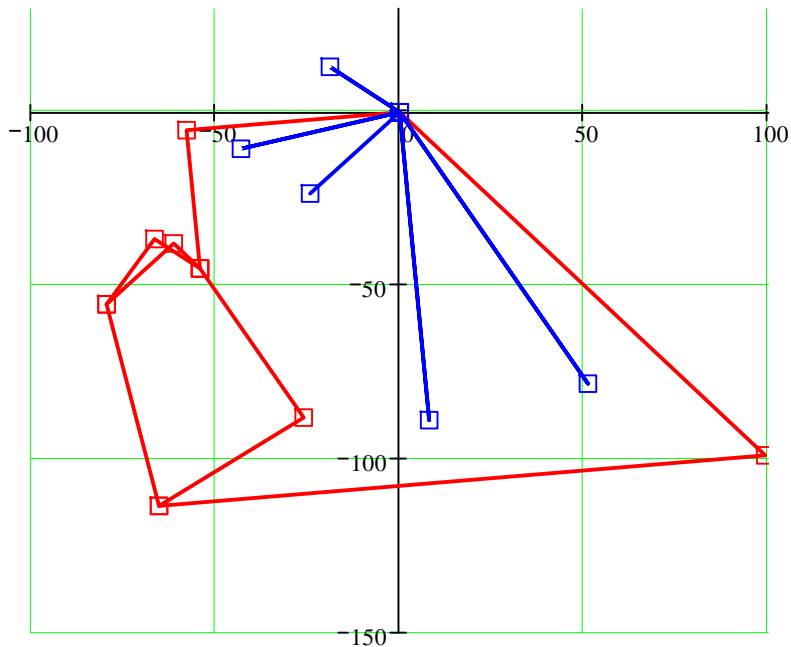
$$P := (|I_1|)^2 \cdot R_1 + (|I_2|)^2 \cdot R_2 + (|I_4|)^2 \cdot R_3 + (|I_5|)^2 \cdot R_4 \quad P = 478.485$$

$$Q := (|I_1|)^2 \cdot (X_{L1} \cdot i - X_{C1} \cdot i) + (|I_2|)^2 \cdot (-X_{C2} \cdot i) + (|I_3|)^2 \cdot X_{L2} \cdot i + (|I_4|)^2 \cdot X_{L3} \cdot i + (|I_5|)^2 \cdot (-X_{C3} \cdot i) \\ Q = 400.202i$$

Визначимо потенціали всіх точок позначених на схемі:

$$\begin{aligned} \phi_{1'} &:= 0 \\ \phi_a &:= \phi_{1'} + I_1 \cdot (-X_{C1} \cdot i) & \phi_a &= -57.694 - 5.14i & F(\phi_a) &= (57.923 \quad -174.909) \\ \phi_b &:= \phi_a + I_1 \cdot R_1 & \phi_b &= -54.136 - 45.082i & F(\phi_b) &= (70.449 \quad -140.214) \\ \phi_c &:= \phi_b + I_2 \cdot R_2 & \phi_c &= -26.085 - 88.123i & F(\phi_c) &= (91.903 \quad -106.489) \\ \phi_d &:= \phi_c + I_2 \cdot (-X_{C2} \cdot i) & \phi_d &= -65.212 - 113.624i & F(\phi_d) &= (131.008 \quad -119.853) \\ \phi_1 &:= \phi_d + I_1 \cdot X_{L1} \cdot i & \phi_1 &= 98.995 - 98.995i & F(\phi_1) &= (140 \quad -45) \\ \phi_A &:= \phi_1 - E_C & \phi_A &= 0 \\ \phi_k &:= \phi_b + I_4 \cdot R_3 & \phi_k &= -66.374 - 36.619i & F(\phi_k) &= (75.805 \quad -151.114) \\ \phi_z &:= \phi_k + I_4 \cdot X_{L3} \cdot i & \phi_z &= -79.394 - 55.446i & F(\phi_z) &= (96.839 \quad -145.071) \\ \phi_d &:= \phi_z + I_3 \cdot X_{L2} \cdot i & \phi_d &= -65.212 - 113.624i & F(\phi_d) &= (131.008 \quad -119.853) \\ \phi_m &:= \phi_b + I_5 \cdot (-X_{C3} \cdot i) & \phi_m &= -61.194 - 37.802i & F(\phi_m) &= (71.928 \quad -148.294) \end{aligned}$$

Суміщена векторна діаграма струмів і топографічна діаграма напруг:



1.5. Приймаючи активний опір R_2 за нульовий і вважаючи реактивний опір цієї вітки невідомий, розрахувати його за умови резонансу струмів.

$$Z_3 := X_{L2} \cdot i$$

$$Z_3 = 27i$$

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

$$Z_4 = 13 + 20i$$

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

$$Z_5 = 15 - 6i$$

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

$$Z_E = 12.171 + 28.843i$$

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

$$R_E = 12.171$$

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

$$X_E = 28.843$$

Умова резонансу струмів на ділянці "ab": $B_{ab} = B_2 + B_E$ $B_{ab} := 0$ $B_2 = -B_E$

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

$$B_2 = -0.029$$

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

$$X_2 = -33.979$$

Розрахувати струми для резонансного стану кола

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

$$Z_1 = 9 + 24i$$

$$Z_3 := X_{L2} \cdot i$$

$$Z_3 = 27i$$

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

$$Z_4 = 13 + 20i$$

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

$$Z_5 = 15 - 6i$$

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

$$Z_{345} = 12.171 + 28.843i$$

Вхідний опір кола:

$$Z_{VX}(X_N) := \frac{Z_{345} \cdot i \cdot X_N}{Z_{345} + i \cdot X_N} + Z_1 \rightarrow \left(\frac{-2019}{70} + \frac{426}{35} \cdot i \right) \cdot \frac{X_N}{\left(\frac{426}{35} + \frac{2019}{70} \cdot i + i \cdot X_N \right)} + 9 + 24 \cdot i$$

$$Z_{VX}(X_N) \left| \begin{array}{l} \text{complex} \\ \text{simplify} \end{array} \right. \rightarrow 3 \cdot \frac{(169596 \cdot X_N + 6916 \cdot X_N^2 + 2881359 + 772407 \cdot i \cdot X_N + 17262 \cdot i \cdot X_N^2 + 7683624 \cdot i)}{(960453 + 56532 \cdot X_N + 980 \cdot X_N^2)}$$

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

$$X_{VX}(X_N) := \text{Im}(Z_{VX}(X_N)) \left| \begin{array}{l} \text{complex} \\ \text{simplify} \end{array} \right. \rightarrow 27 \cdot \frac{(85823 \cdot X_N + 1918 \cdot X_N^2 + 853736)}{(960453 + 56532 \cdot X_N + 980 \cdot X_N^2)}$$

$$X_N := \text{Im}(Z_{VX}(X_N)) \left| \begin{array}{l} \text{complex} \\ \text{solve, } X_N \rightarrow \\ \text{float, 20} \end{array} \right. \left(\begin{array}{l} -14.927555984991886676 \\ -29.818533691754724378 \end{array} \right) \quad X_N := \begin{pmatrix} X_{N_0} \\ X_{N_1} \end{pmatrix}$$

Отже резонанс кола може бути при реактивному опорі у другій вітці $X_N = \begin{pmatrix} -14.928 \\ -29.819 \end{pmatrix}$ який носить ємнісний характер ($X_{N_0} = -14.928$), ($X_{N_1} = -29.819$)

$$X_n := X_{N_0} \quad X_n = -14.928 \quad Z_{VX}(X_n) = 16.935$$

$$I_1 := \frac{U}{Z_{VX}(X_n)} \quad I_1 = 5.845 - 5.845i \quad F(I_1) = (8.267 \quad -45)$$

$$I_2 := I_1 \cdot \frac{Z_{345}}{Z_{345} + i \cdot X_n} \quad I_2 = 12.505 - 6.291i \quad F(I_2) = (13.999 \quad -26.704)$$

$$I_3 := I_1 - I_2 \quad I_3 = -6.66 + 0.445i \quad F(I_3) = (6.675 \quad 176.176)$$

$$I_4 := I_3 \cdot \frac{Z_5}{Z_4 + Z_5} \quad I_4 = -2.112 + 2.722i \quad F(I_4) = (3.445 \quad 127.809)$$

$$I_5 := I_3 - I_4 \quad I_5 = -4.548 - 2.276i \quad F(I_5) = (5.086 \quad -153.413)$$

$$S_1 := U \cdot \overline{I_1} \quad S_1 = 1.157 \times 10^3$$

$$P := (|I_1|)^2 \cdot R_1 + (|I_4|)^2 \cdot R_3 + (|I_5|)^2 \cdot R_4 \quad P = 1.157 \times 10^3$$

$$Q := (|I_1|)^2 \cdot (X_{L1} - X_{C1}) + (|I_2|)^2 \cdot X_n + (|I_3|)^2 \cdot (X_{L2}) + (|I_4|)^2 \cdot (X_{L3}) + (|I_5|)^2 \cdot (-X_{C3}) Q = -6.253 \times 10^{-13}$$

При $X_n := X_{N_1} \quad X_n = -29.819 \quad Z_{VX}(X_n) = 81.585$

$$I_1 := \frac{U}{Z_{VX}(X_n)} \quad I_1 = 1.213 - 1.213i \quad F(I_1) = (1.716 \quad -45)$$

$$I_2 := I_1 \cdot \frac{Z_{345}}{Z_{345} + i \cdot X_n} \quad I_2 = 3.93 + 1.977i \quad F(I_2) = (4.4 \quad 26.704)$$

$$I_3 := I_1 - I_2 \quad I_3 = -2.717 - 3.19i \quad F(I_3) = (4.191 \quad -130.417)$$

$$I_4 := I_3 \cdot \frac{Z_5}{Z_4 + Z_5} \quad I_4 = -2.162 - 0.046i \quad F(I_4) = (2.163 \quad -178.783)$$

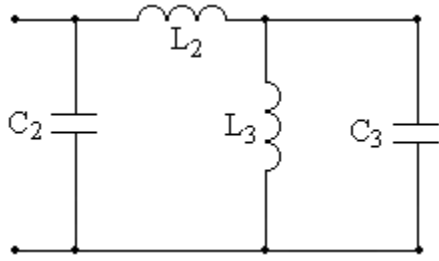
$$I_5 := I_3 - I_4 \quad I_5 = -0.555 - 3.145i \quad F(I_5) = (3.193 \quad -100.006)$$

$$S_1 := U \cdot \overline{I_1} \quad S_1 = 240.239$$

$$P := (|I_1|)^2 \cdot R_1 + (|I_4|)^2 \cdot R_3 + (|I_5|)^2 \cdot R_4 \quad P = 240.239$$

$$Q := (|I_1|)^2 \cdot (X_{L1} - X_{C1}) + (|I_2|)^2 \cdot X_n + (|I_3|)^2 \cdot (X_{L2}) + (|I_4|)^2 \cdot (X_{L3}) + (|I_5|)^2 \cdot (-X_{C3}) Q = 8.527 \times 10^{-14}$$

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



$$L_2 := \frac{X_{L2}}{\omega} \rightarrow \frac{27}{100 \cdot \pi} \quad L_2 = 0.086$$

$$L_3 := \frac{X_{L3}}{\omega} \rightarrow \frac{1}{5 \cdot \pi} \quad L_3 = 0.064$$

$$C_2 := \frac{1}{\omega \cdot X_{C2}} \rightarrow \frac{1}{1000 \cdot \pi} \quad C_2 = 3.183 \times 10^{-4}$$

$$C_3 := \frac{1}{\omega \cdot X_{C3}} \rightarrow \frac{1}{600 \cdot \pi} \quad C_3 = 5.305 \times 10^{-4}$$

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

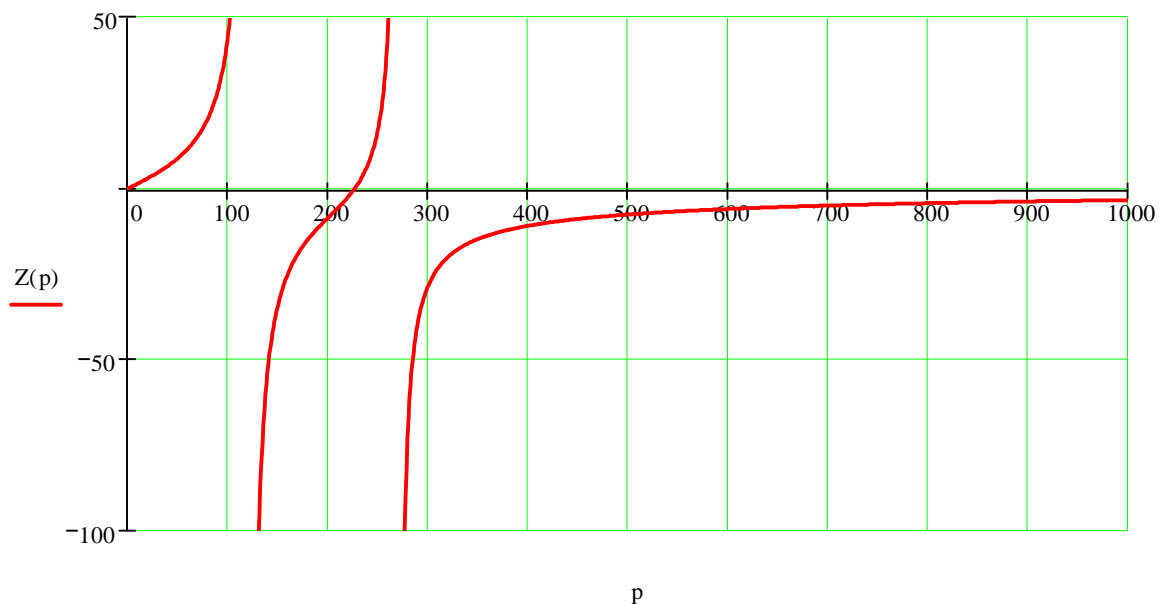
$$\frac{-1}{p \cdot C_2} + \frac{p \cdot L_3 \cdot \frac{-1}{p \cdot C_3}}{p \cdot L_3 - \frac{1}{p \cdot C_3}} + p \cdot L_2$$

Знаходимо нулі: $Z(p) = 0$

$$w_1 := Z(p) \left| \begin{array}{l} \text{solve, } p \\ \text{float, } 3 \end{array} \right. \rightarrow \begin{pmatrix} 227. \\ -227. \\ 0 \end{pmatrix}$$

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

$$w := \frac{1}{Z(p)} \left| \begin{array}{l} \text{solve, } p \\ \text{float, } 10 \end{array} \right. \rightarrow \begin{pmatrix} 270.8083797 \\ 121.4832474 \\ -121.4832474 \\ -270.8083797 \end{pmatrix}$$



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

2.1. Розрахувати струми віток методом контурних струмів, попередньо спростивши схему до двох незалежних контурів.

2.2. Побудувати суміщену векторну діаграму струмів і топографічну діаграму напруг.

2.3. Скласти баланс активних і реактивних потужностей кола.

2.4. Розрахувати активну потужність, що передається магнітним потоком взаємодукції.

Спростимо схему до двох незалежних контурів

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

$$Z_4 = 13 + 20i$$

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

$$Z_5 = 15 - 6i$$

$$Z_{45} := \frac{Z_5 \cdot Z_4}{Z_5 + Z_4}$$

$$Z_{45} = 12.171 + 1.843i$$

$$Z_{345} := Z_{45}$$

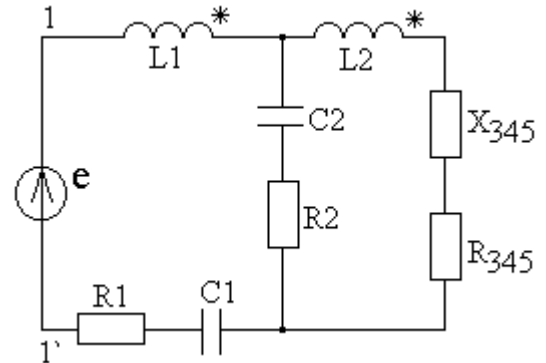
$$Z_{345} = 12.171 + 1.843i$$

$$R_{345} := \text{Re}(Z_{345})$$

$$R_{345} = 12.171$$

$$X_{345} := \text{Im}(Z_{345})$$

$$X_{345} = 1.843$$



$$Z_{11} := R_1 + R_2 - X_{C2} \cdot i + X_{L1} \cdot i - X_{C1} \cdot i$$

$$Z_{11} = 20 + 14i$$

$$Z_{22} := R_{345} + X_{345} \cdot i - X_{C2} \cdot i + R_2 + X_{L2} \cdot i$$

$$Z_{22} = 23.171 + 18.843i$$

$$Z_{12} := R_2 - X_{C2} \cdot i - X_M \cdot i$$

$$Z_{21} := Z_{12}$$

$$Z_{12} = 11 - 25i$$

$$U = 98.995 - 98.995i$$

$$F(U) = (140 \quad -45)$$

Given

$$I_1 \cdot (Z_{11}) - I_3 \cdot (Z_{12}) = U$$

$$-I_1 \cdot (Z_{21}) + I_3 \cdot (Z_{22}) = 0$$

$$\begin{pmatrix} I_1 \\ I_3 \end{pmatrix} := \text{Find}(I_1, I_3)$$

$$I_2 := I_1 - I_3$$

$$I_1 = 1.16 - 2.672i$$

$$F(I_1) = (2.913 \quad -66.532)$$

$$I_2 = 3.797 - 2.296i$$

$$F(I_2) = (4.437 \quad -31.165)$$

$$I_3 = -2.637 - 0.375i$$

$$F(I_3) = (2.664 \quad -171.9)$$

Баланс потужностей електричного кола :

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

$$S_T = 379.318 + 149.658i$$

$$P_T := \text{Re}(S_T)$$

$$P_T = 379.318$$

$$Q_T := \text{Im}(S_T)$$

$$Q_T = 149.658$$

$$S_{M1} := \overline{I_1} \cdot I_3 \cdot X_M \cdot i$$

$$S_{M1} = 112.216 - 30.843i$$

$$F(S_{M1}) = (116.377 \quad -15.368)$$

$$S_{M2} := \overline{I_3} \cdot I_1 \cdot X_M \cdot i$$

$$S_{M2} = -112.216 - 30.843i$$

$$F(S_{M2}) = (116.377 \quad -164.632)$$

$$S_{KC} := (|I_1|)^2 \cdot (X_{L1} \cdot i + R_1 - X_{C1} \cdot i) + (|I_2|)^2 \cdot (R_2 - X_{C2} \cdot i) + (|I_3|)^2 \cdot (R_{345} + X_{345} \cdot i + X_{L2} \cdot i)$$

$$S_{KC} + (S_{M1} + S_{M2}) = 379.318 + 149.658i$$

Визначимо потенціали всіх точок позначених на схемі:

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

$$\phi_a := \phi_{1'} + I_1 \cdot R_1$$

$$\phi_a = 10.44 - 24.046i$$

$$F(\phi_a) = (26.214 \quad -66.532)$$

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

$$\phi_b = -24.293 - 39.125i$$

$$F(\phi_b) = (46.053 \quad -121.836)$$

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

$$\phi_c = 17.475 - 64.385i$$

$$F(\phi_c) = (66.715 \quad -74.815)$$

$$\phi_d := \phi_c + I_2 \cdot (-X_{C2} \cdot i)$$

$$\phi_d = -5.489 - 102.356i$$

$$F(\phi_d) = (102.503 \quad -93.07)$$

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

$$\phi_1 = 93.365 - 59.438i$$

$$F(\phi_1) = (110.679 \quad -32.482)$$

$$\phi_{1'} := \phi_1 + I_3 \cdot X_M \cdot i$$

$$\phi_{1'} = 98.995 - 98.995i$$

$$F(\phi_{1'}) = (140 \quad -45)$$

$$\phi_A := \phi_{1'} - E_C$$

$$\phi_A = 8.527 \times 10^{-14} - 4.263i \times 10^{-14}$$

$$\phi_e := \phi_b + I_3 \cdot R_{345}$$

$$\phi_e = -56.391 - 43.693i$$

$$F(\phi_e) = (71.337 \quad -142.23)$$

$$\phi_k := \phi_e + I_3 \cdot X_{345} \cdot i$$

$$\phi_k = -55.699 - 48.553i$$

$$F(\phi_k) = (73.89 \quad -138.921)$$

$$\phi_{d'} := \phi_k + I_3 \cdot X_{L2} \cdot i$$

$$\phi_{d'} = -45.565 - 119.756i$$

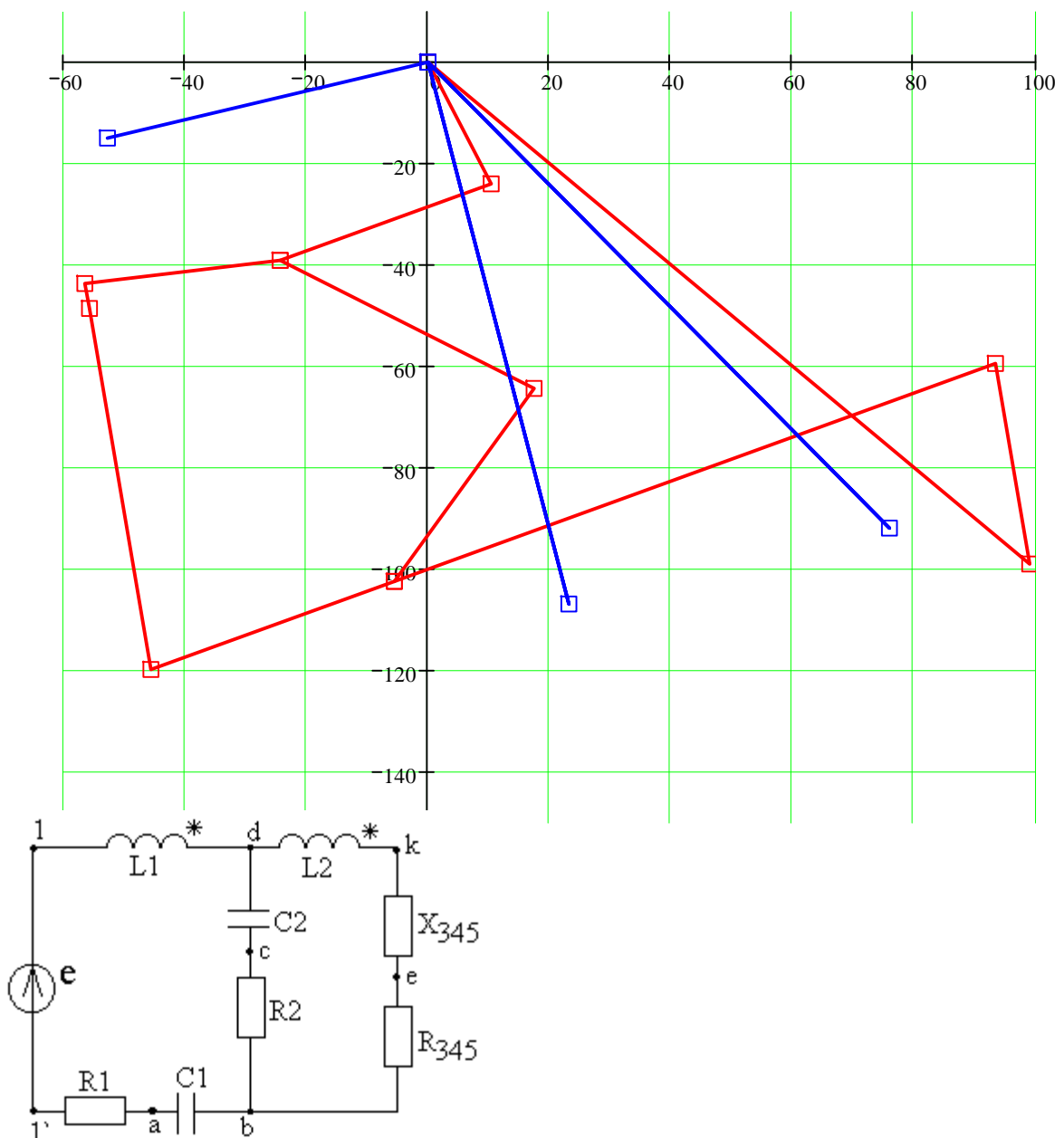
$$F(\phi_{d'}) = (128.131 \quad -110.831)$$

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

$$\phi_d = -5.489 - 102.356i$$

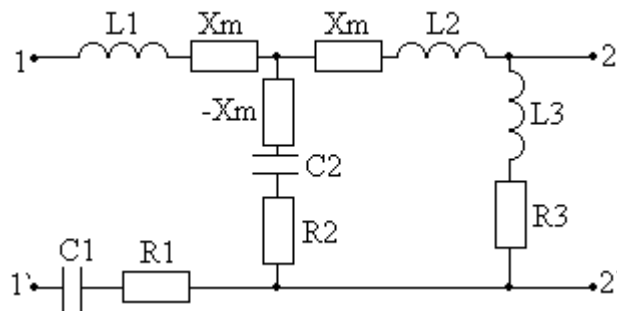
$$F(\phi_d) = (102.503 \quad -93.07)$$

Суміщена векторна діаграма струмів і топографічна діаграма напруг:



3. Відкинувши крайню вітку між полбсами 2,2", зробити розв'язку магнітного зв'язку. Одержану схему розглядати як чотириполосник з полюсами 1,1" та 2,2":

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



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

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

Неробочій хід:

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

$$Z_1 := R_1 + X_{L1} \cdot i - X_{C1} \cdot i + X_M \cdot i \rightarrow 9 + 39 \cdot i$$

$$Z_2 := R_2 - X_{C2} \cdot i - X_M \cdot i \rightarrow 11 - 25 \cdot i$$

$$Z_3 := R_3 + X_{L2} \cdot i + X_{L3} \cdot i + X_M \cdot i \rightarrow 13 + 62 \cdot i$$

$$Z_{10} := \frac{Z_2 \cdot Z_3}{Z_2 + Z_3} + Z_1 \quad Z_{10} = 36.682 + 11.199i \quad Z_{20} := \frac{Z_1 \cdot Z_2}{Z_1 + Z_2} + Z_3 \quad Z_{20} = 53.832 + 43.617i$$

$$I_{10} := \frac{U_{10}}{Z_{10}} \quad I_{10} = 1.715 - 3.222i \quad F(I_{10}) = (3.65 \quad -61.977)$$

$$I_{30} := I_{10} \cdot \frac{Z_2}{Z_2 + Z_3} \quad I_{30} = -2.251 + 0.207i \quad F(I_{30}) = (2.261 \quad 174.741)$$

$$U_{20} := I_{30} \cdot (R_3 + i \cdot X_{L3}) \quad U_{20} = -33.409 - 42.33i \quad F(U_{20}) = (53.925 \quad -128.282)$$

$$A := \frac{U_{10}}{U_{20}} \quad A = 0.304 + 2.578i \quad F(A) = (2.596 \quad 83.282)$$

$$C := \frac{I_{10}}{U_{20}} \quad C = 0.027 + 0.062i \quad F(C) = (0.068 \quad 66.305)$$

Коротке замикання:

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

$$Z_1 := R_1 + i \cdot (X_{L1} - X_{C1} + X_M) \rightarrow 9 + 39 \cdot i$$

$$Z_2 := R_2 + i \cdot (-X_{C2} - X_M) \rightarrow 11 - 25 \cdot i$$

$$Z_3 := i \cdot (X_{L2} + X_M) \rightarrow 42 \cdot i$$

$$Z_K := \frac{Z_2 \cdot Z_3}{Z_2 + Z_3} + Z_1 \quad Z_K = 56.327 + 7.859i$$

$$I_{1K} := \frac{U_K}{Z_K} \quad I_{1K} = 1.483 - 1.964i \quad F(I_{1K}) = (2.462 \quad -52.942)$$

$$I_{3K} := I_{1K} \cdot \frac{Z_2}{Z_2 + Z_3} \quad I_{3K} = -3.314 - 0.215i \quad F(I_{3K}) = (3.321 \quad -176.288)$$

$$B := \frac{U_K}{I_{3K}} \quad B = -27.82 + 31.681i \quad F(B) = (42.162 \quad 131.288)$$

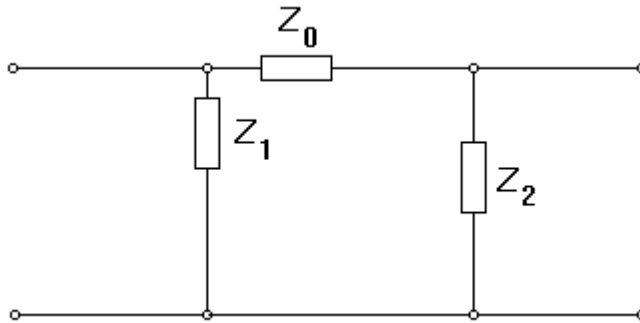
$$D := \frac{I_{1K}}{I_{3K}} \quad D = -0.408 + 0.619i \quad F(D) = (0.741 \quad 123.345)$$

Перевірка $A \cdot D - B \cdot C = 1$

$$F(A) = (2.596 \ 83.282) \quad F(B) = (42.162 \ 131.288)$$

$$F(C) = (0.068 \ 66.305) \quad F(D) = (0.741 \ 123.345)$$

Розрахувати параметри віток схеми П заміщення;



$$Z_0 := B \quad Z_0 = -27.82 + 31.681i \quad F(Z_0) = (42.162 \ 131.288)$$

$$Y_1 := \frac{D - 1}{B} \quad Y_1 = 0.033 + 0.015i \quad F(Y_1) = (0.036 \ 24.963)$$

$$Y_2 := \frac{A - 1}{B} \quad Y_2 = 0.057 - 0.028i \quad F(Y_2) = (0.063 \ -26.175)$$

$$R_0 := \operatorname{Re}(Z_0) \quad R_0 = -27.82 \quad X_{L0} := \operatorname{Im}(Z_0) \quad X_{L0} = 31.681$$

$$Z_1 := \frac{1}{Y_1} \quad Z_1 = 24.857 - 11.571i \quad R_1 := \operatorname{Re}(Z_1) \quad R_1 = 24.857 \quad X_{C1} := -\operatorname{Im}(Z_1) \quad X_{C1} = 11.571$$

$$Z_2 := \frac{1}{Y_2} \quad Z_2 = 14.168 + 6.964i \quad R_2 := \operatorname{Re}(Z_2) \quad R_2 = 14.168 \quad X_{L2} := \operatorname{Im}(Z_2) \quad X_{L2} = 6.964$$

$$C_1 := \frac{1}{\omega \cdot X_{C1}} \quad C_1 = 2.751 \times 10^{-4} \quad L_2 := \frac{X_{L2}}{\omega} \quad L_2 = 0.022$$

$$L_0 := \frac{X_{L0}}{\omega} \quad L_0 = 0.101$$