

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКА УКРАЇНИ НАЦІОНАЛЬНИЙ  
АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ  
КОМП'ЮТЕРНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ КАФЕДРА  
КОМП'ЮТЕРИЗОВАНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ

Домашнє завдання з дисципліни «Теорія електричних та магнітних кіл»

ВАРІАНТ – К16

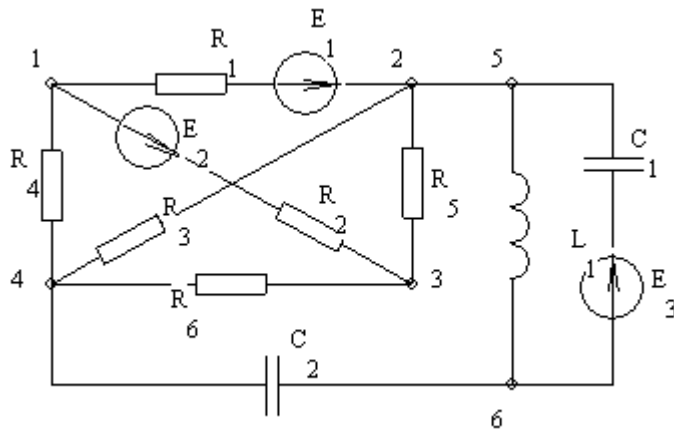
Виконав студент НН ІКІТ групи СП-224

Ковилін Денис Григорійович

Завдання 1: Розрахунок складного електричного кола з джерелами постійного струму.

Дані згідно варіанту K16:

Схема:



Параметри схеми:

$$E_1 = 20 \text{ В}$$

$$E_2 = 24 \text{ В}$$

$$E_3 = 20 \text{ В}$$

$$R_1 = R_3 = 30 \text{ Ом}$$

$$R_2 = R_4 = 25 \text{ Ом},$$

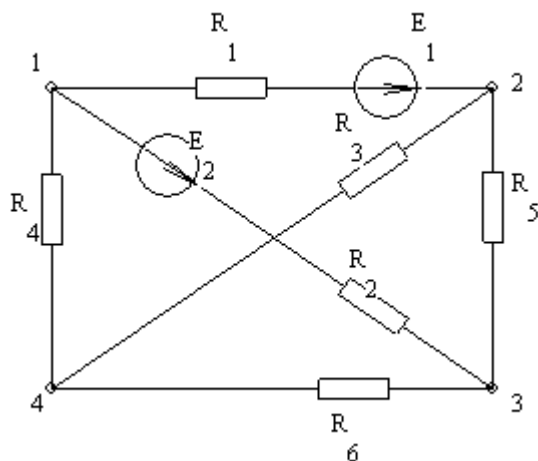
$$R_5 = R_6 = 20 \text{ Ом}$$

$$C_1 = 0.8 \text{ мкФ}$$

$$C_2 = 1.6 \text{ мкФ}$$

$$L = 0.2 \text{ Гн.}$$

0. Спрощення схеми: відкидаємо усі гілки з конденсаторами, так як через них постійний струм не протікає. Спрощена схема:



1. Скласти систему рівнянь за законами Кірхгофа

а. проаналізуємо схему: Кількість вузлів ( $q$ ) = 4 Кількість гілок ( $p$ ) = 6

Отже:

- кількість рівнянь за першим законом Кірхгофа  $\Rightarrow q - 1 = 3$
- кількість рівнянь за другим законом Кірхгофа  $\Rightarrow p - (q - 1) = 6 - (4 - 1) = 6 - 3 = 3$

б. складемо рівняння за першим законом Кірхгофа 3-х вузлів:

$$I_1 - I_4 + I_2 = 0$$

$$-I_1 + I_5 - I_3 = 0$$

$$-I_6 + I_4 + I_3 = 0$$

в. складемо рівняння за другим законом Кірхгофа для 3-х контурів

$$I_1 \cdot R_1 - I_3 \cdot R_3 + I_4 \cdot R_4 = E_1$$

$$I_5 \cdot R_5 + I_6 \cdot R_6 + I_3 \cdot R_3 = 0$$

$$I_1 \cdot R_1 + I_5 \cdot R_5 - I_2 \cdot R_2 = E_1 - E_2$$

г. складемо систему рівнянь з наведених вище рівнянь:

$$\left\{ \begin{array}{l} I_1 \cdot R_1 - I_3 \cdot R_3 + I_4 \cdot R_4 = E_1 \\ I_5 \cdot R_5 + I_6 \cdot R_6 + I_3 \cdot R_3 = 0 \\ I_1 \cdot R_1 + I_5 \cdot R_5 - I_2 \cdot R_2 = E_1 - E_2 \\ I_1 - I_4 + I_2 = 0 \\ -I_1 + I_5 - I_3 = 0 \\ -I_6 + I_4 + I_3 = 0 \end{array} \right.$$

2. Розрахувати коло методом контурних струмів

а. визначимо контурні струми та опори:

$$R_{11} = R_1 + R_3 + R_4 = 85 \text{ Ом}$$

$$R_{12} = -R_3 = -30 \text{ Ом}$$

$$R_{13} = R_1 = 30 \text{ Ом}$$

$$R_{21} = -R_3 = -30 \text{ Ом}$$

$$R_{22} = R_5 + R_6 + R_3 = 70 \text{ Ом}$$

$$R_{23} = R_5 = 20 \text{ Ом}$$

$$R_{31} = R_1 = 30 \text{ Ом}$$

$$R_{32} = R_5 = 20 \text{ Ом}$$

$$R_{33} = R_1 + R_5 + R_2 = 75 \text{ Ом}$$

$$E_{11} = E_1 = 20 \text{ В}$$

$$E_{22} = 0 \text{ В}$$

$$E_{33} = E_1 - E_2 = -4 \text{ В}$$

б. складемо рівняння за другим законом Кірхгофа

$$\begin{cases} I_{11} \cdot R_{11} + I_{22} \cdot R_{12} + I_{33} \cdot R_{13} = E_{11} \\ I_{11} \cdot R_{21} + I_{22} \cdot R_{22} + I_{33} \cdot R_{23} = E_{22} \\ I_{11} \cdot R_{31} + I_{22} \cdot R_{32} + I_{33} \cdot R_{33} = E_{33} \end{cases}$$

в. складемо систему лінійних рівнянь:

$$\begin{cases} 85 \cdot I_{11} - 30 \cdot I_{22} + 30 \cdot I_{33} = 20 \\ -30 \cdot I_{11} + 70 \cdot I_{22} + 20 \cdot I_{33} = 0 \\ 30 \cdot I_{11} + 20 \cdot I_{22} + 75 \cdot I_{33} = -4 \end{cases}$$

г. отриману СЛАР розв'яжемо Крамера та отримаємо контурні струми:

$$\Delta = \begin{vmatrix} 85 & -30 & 30 \\ -30 & 70 & 20 \\ 30 & 20 & 75 \end{vmatrix} = 85 \cdot 70 \cdot 75 + (-30) \cdot 20 \cdot 30 + 30 \cdot (-30) \cdot 20 - 30 \cdot 70 \cdot 30 - 85 \cdot 20 \cdot 20 - (-30) \cdot (-30) \cdot 75 =$$
$$= 446250 - 18000 - 18000 - 63000 - 34000 - 67500 = 245750$$

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} 20 & -30 & 30 \\ 0 & 70 & 20 \\ -4 & 20 & 75 \end{vmatrix} = 20 \cdot 70 \cdot 75 + (-30) \cdot 20 \cdot (-4) + 30 \cdot 0 \cdot 20 - 30 \cdot 70 \cdot (-4) - 20 \cdot 20 \cdot 20 - (-30) \cdot 0 \cdot 75 = 105000 +$$
$$+ 2400 + 0 + 8400 - 8000 + 0 = 107800$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} 85 & 20 & 30 \\ -30 & 0 & 20 \\ 30 & -4 & 75 \end{vmatrix} = 85 \cdot 0 \cdot 75 + 20 \cdot 20 \cdot 30 + 30 \cdot (-30) \cdot (-4) - 30 \cdot 0 \cdot 30 - 85 \cdot 20 \cdot (-4) - 20 \cdot (-30) \cdot 75 = 0 +$$
$$+ 12000 + 3600 - 0 + 6800 + 45000 = 67400$$

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} 85 & -30 & 20 \\ -30 & 70 & 0 \\ 30 & 20 & -4 \end{vmatrix} = 85 \cdot 70 \cdot (-4) + (-30) \cdot 0 \cdot 30 + 20 \cdot (-30) \cdot 20 - 20 \cdot 70 \cdot 30 - 85 \cdot 0 \cdot 20 - (-30) \cdot (-30) \cdot (-4) =$$
$$= -23800 - 0 - 12000 - 42000 - 0 + 3600 = -74200$$

$$I_{11} = \Delta_1 / \Delta = 107800 / 245750 = 0,4386572$$

$$I_{22} = \Delta_2 / \Delta = 67400 / 245750 = 0,2742625$$

$$I_{33} = \Delta_3 / \Delta = -74200 / 245750 = -0,3019329$$

д. розрахуємо діючі струми за контурними

$$I_1 = I_{11} + I_{33} = 0,13672431 \text{ А}$$

$$I_5 = I_{22} + I_{33} = -0,027670397 \text{ А}$$

$$I_6 = I_{22} = 0,27426246 \text{ A}$$

$$I_4 = I_{11} = 0,43865717 \text{ A}$$

$$I_2 = -I_{33} = 0,30193286 \text{ A}$$

$$I_3 = -I_{11} + I_{22} = -0,16439471 \text{ A}$$

е. перевіримо за балансом потужностей:

- $I_1^2 \cdot R_1 + I_5^2 \cdot R_5 + I_6^2 \cdot R_6 + I_4^2 \cdot R_4 + I_2^2 \cdot R_2 + I_3^2 \cdot R_3 = 0,560806 + 0,015313 + 1,5044 + 4,8105 + 2,27909 + 0,810769 = 9,98087$
- $E_1 \cdot I_1 + E_2 \cdot I_2 = 2,73449 + 7,24639 = 9,98087$

Похибка: 0

3. Розрахувати коло методом вузлових потенціалів

а. приймемо потенціал третього вузла за нуль:  $\varphi_3 = 0 \text{ В}$

б. визначимо значення власних та взаємних провідностей:

$$G_{11} = 1/R_1 + 1/R_4 + 1/R_2 = 0,113333$$

$$G_{12} = -1/R_1 = -0,0333333$$

$$G_{14} = -1/R_4 = -0,04$$

$$G_{22} = 1/R_1 + 1/R_5 + 1/R_3 = 0,116667$$

$$G_{24} = -1/R_3 = -0,0333333$$

$$G_{44} = 1/R_6 + 1/R_4 + 1/R_3 = 0,123333$$

в. визначимо значення вузлових струмів:

$$I_{11} = -E_1/R_1 - E_2/R_2 = -1,62667$$

$$I_{22} = E_1/R_1 = 0,666667$$

$$I_{44} = 0$$

г. складемо рівняння для інших трьох вузлів:

$$\begin{cases} \varphi_1 \cdot G_{11} + \varphi_2 \cdot G_{12} + \varphi_4 \cdot G_{14} = I_{11} \\ \varphi_1 \cdot G_{21} + \varphi_2 \cdot G_{22} + \varphi_4 \cdot G_{24} = I_{22} \\ \varphi_1 \cdot G_{41} + \varphi_2 \cdot G_{42} + \varphi_4 \cdot G_{44} = I_{44} \end{cases}$$

д. підставимо значення знайдені в пунктах б та в до рівнянь:

$$\begin{cases} 0,11333\varphi_1 - 0,033333\varphi_2 - 0,04\varphi_4 = -1,6267 \\ -0,033333\varphi_1 + 0,11667\varphi_2 - 0,033333\varphi_4 = 0,66667 \\ -0,04\varphi_1 - 0,033333\varphi_2 + 0,12333\varphi_4 = 0 \end{cases}$$

е. розрахуємо СЛАР методом Крамера і отримаємо значення вузлових потенціалів:

$$\Delta = \begin{vmatrix} 0.11333 & -0.033333 & -0.04 \\ -0.033333 & 0.11667 & -0.033333 \\ -0.04 & -0.033333 & 0.12333 \end{vmatrix} =$$

$$= 0.11333 \cdot 0.11667 \cdot 0.12333 + (-0.033333) \cdot (-0.033333) \cdot (-0.04) + (-0.04) \cdot (-0.033333) \cdot (-0.033333) - (-0.04) \cdot 0.11667 \cdot (-0.04) - 0.11333 \cdot (-0.033333) \cdot (-0.033333) - (-0.033333) \cdot (-0.033333) \cdot 0.12333 =$$

$$= 0.001630695294963 - 0.00004444355556 - 0.00004444355556 - 0.000186672 - 0.00012591970379037 - 0.000137030593 = 0.00109218$$

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} -1.6267 & -0.033333 & -0.04 \\ 0.66667 & 0.11667 & -0.033333 \\ 0 & -0.033333 & 0.12333 \end{vmatrix} =$$

$$= (-1.6267) \cdot 0.11667 \cdot 0.12333 + (-0.033333) \cdot (-0.033333) \cdot 0 + (-0.04) \cdot 0.66667 \cdot (-0.033333) - (-0.04) \cdot 0.11667 \cdot 0 - (-1.6267) \cdot (-0.033333) \cdot (-0.033333) - (-0.033333) \cdot 0.66667 \cdot 0.12333 =$$

$$= -0.02340644168637 + 0 + 0.00088888444444 + 0 + 0.0027406529631963 = 0.017969495983$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} 0.11333 & -1.6267 & -0.04 \\ -0.033333 & 0.66667 & -0.033333 \\ -0.04 & 0 & 0.12333 \end{vmatrix} =$$

$$= 0.11333 \cdot 0.66667 \cdot 0.12333 + (-1.6267) \cdot (-0.033333) \cdot (-0.04) + (-0.04) \cdot (-0.033333) \cdot 0 - (-0.04) \cdot 0.66667 \cdot (-0.04) - 0.11333 \cdot (-0.033333) \cdot 0 - (-1.6267) \cdot (-0.033333) \cdot 0.12333 =$$

$$= 0.009318039189963 - 0.002168911644 + 0 - 0.001066672 + 0 - 0.006687296826363 =$$

$$= -0.00060484128$$

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} 0.11333 & -0.033333 & -1.6267 \\ -0.033333 & 0.11667 & 0.66667 \\ -0.04 & -0.033333 & 0 \end{vmatrix} =$$

$$= 0.11333 \cdot 0.11667 \cdot 0 + (-0.033333) \cdot 0.66667 \cdot (-0.04) + (-1.6267) \cdot (-0.033333) \cdot (-0.033333) - (-1.6267) \cdot 0.11667 \cdot (-0.04) - 0.11333 \cdot 0.66667 \cdot (-0.033333) - (-0.033333) \cdot (-0.033333) \cdot 0 =$$

$$= 0 + 0.00088888444444 - 0.00759148356 - 0 = -0.005991575559$$

$$\Phi_1 = \Delta_1 / \Delta = 0.017969495983 / 0.00109218 = -16.452 \text{ В}$$

$$\Phi_2 = \Delta_2 / \Delta = -0.00060484128 / 0.00109218 = -0.55341 \text{ В}$$

$$\Phi_4 = \Delta_3 / \Delta = -0.005991575559 / 0.00109218 = -5.4852 \text{ В}$$

$$\Phi_3 = 0 \text{ В}$$

є. використавши значення вузлових потенціалів, обчислимо дійсні значення струмів:

$$I_1 = (\Phi_1 - \Phi_2 + E_1) / R_1 = 0.136724 \text{ А}$$

$$I_5 = (\Phi_2 - \Phi_3) / R_5 = -0.0276704 \text{ А}$$

$$I_6 = (\Phi_3 - \Phi_4) / R_6 = 0.274262 \text{ А}$$

$$I_4 = (\Phi_4 - \Phi_1) / R_4 = 0.438657 \text{ А}$$

$$I_2 = (\varphi_1 - \varphi_3 + E_2) / R_2 = 0,301933 \text{ A}$$

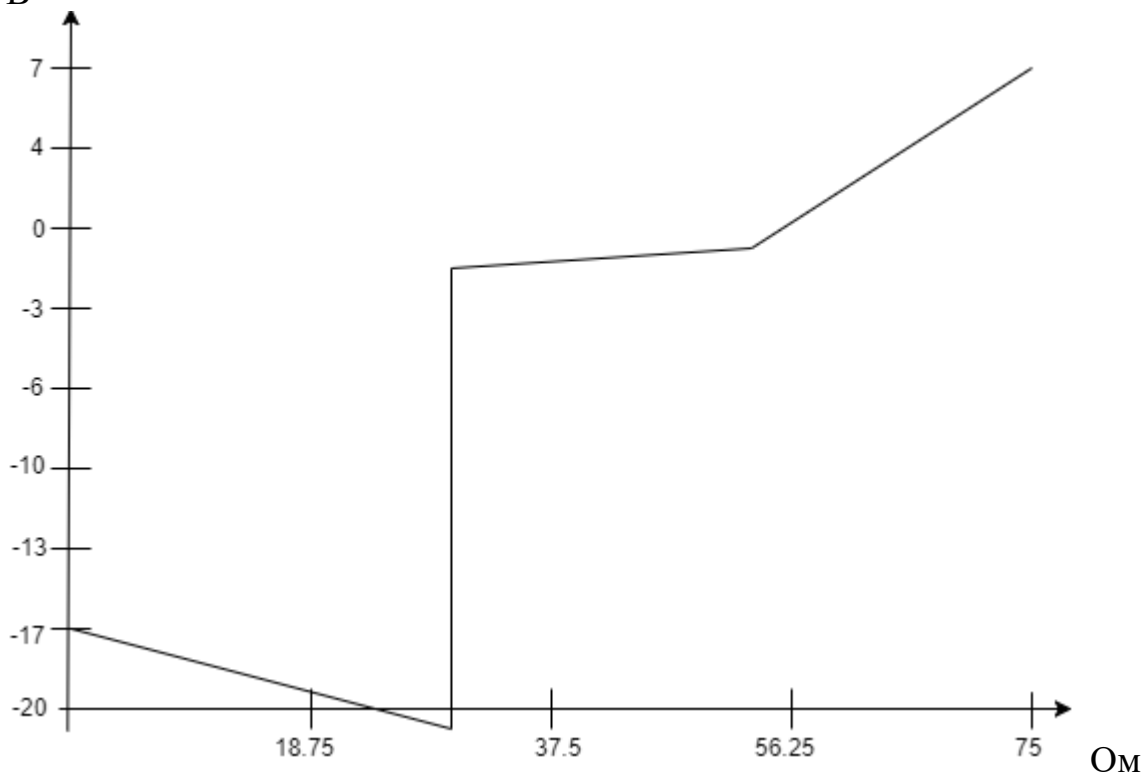
$$I_3 = (\varphi_4 - \varphi_2) / R_3 = -0,164395 \text{ A}$$

ж. перевіримо за балансом потужностей:

- $I_1^2 \cdot R_1 + I_5^2 \cdot R_5 + I_6^2 \cdot R_6 + I_4^2 \cdot R_4 + I_2^2 \cdot R_2 + I_3^2 \cdot R_3 = 0,560806 + 0,015313 + 1,5044 + 4,8105 + 2,27909 + 0,810769 = 9,98087$
- $E_1 \cdot I_1 + E_2 \cdot I_2 = 2,73449 + 7,24639 = 9,98087$   
Похибка = 0

#### 4. Потенціальна діаграма

В



**Напруга на конденсаторах:**

$$U_{C1} = E_3 = 20 \text{ В}$$

$$U_{C2} = U_{R5} + U_{R6} = -0.553408 + 5.48524 = 4.931832$$

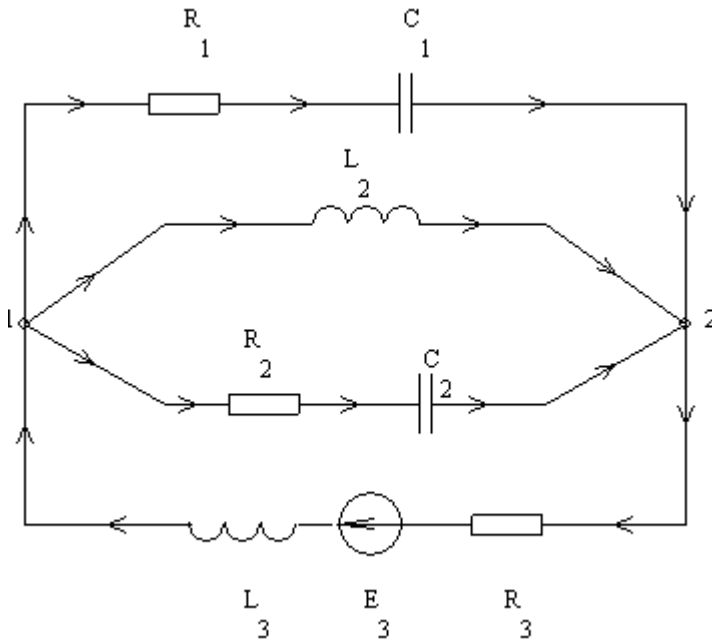
$U_{R5}$  та  $U_{R6}$  знаходимо за законом Ома як:

$$U_{R5} = I_5 \cdot R_5 = -0,0276704 \cdot 20 = -0.553408$$

$$U_{R6} = I_6 \cdot R_6 = 0,274262 \cdot 20 = 5.48524$$

Завдання 2: Розрахунок лінійного електричного кола синусоїдального струму  
Дані згідно варіанту K16:

Схема:



Параметри схеми:

$$E_3 = 90 \text{ В}$$

$$\varphi_0 = 0^\circ$$

$$\omega = 2\pi f = 2513$$

$$f = 400 \text{ Гц}$$

$$R_1 = 130 \text{ Ом}$$

$$R_2 = 115 \text{ Ом}$$

$$R_3 = 110 \text{ Ом}$$

$$C_1 = 2,7 \text{ мкФ}$$

$$C_2 = 2,2 \text{ мкФ}$$

$$L_2 = 47 \text{ Гн.}$$

$$L_3 = 43 \text{ Гн.}$$

1. Знаходимо діючі значення струмів у всіх вітках і напруг на елементах кола зручним методом.

**Розрахунок методом контурних струмів**

а. визначимо опори гілок:

$$Z_1 = R_1 + j * -1/(\omega * C_1) = 130 + j * -1/(2513 * 2,7 * 10^{-6}) = 130 - j147,5$$

$$Z_2 = j * \omega * L_2 = j * 2513 * 47 = j1,181 * 10^5$$

$$Z_3 = R_2 + j * -1/(\omega * C_2) = 115 + j * -1/(2513 * 2,2 * 10^{-6}) = 115 - j180,9$$

$$Z_4 = R_3 + j * \omega * L_3 = 110 + j * 2513 * 43 = 110 + j1,081 * 10^5$$



б. визначимо контурні опори:

$$Z_{11}=Z_1+Z_2=130+j1,181*10^5$$

$$Z_{12}=-Z_2=-j1,181*10^5$$

$$Z_{13}=0$$

$$Z_{21}=-Z_2=-j1,181*10^5$$

$$Z_{22}=Z_2+Z_3=115+j1,179*10^5$$

$$Z_{23}=-Z_3=-115+j180,9$$

$$Z_{31}=0$$

$$Z_{32}=-Z_3=-115+j180,9$$

$$Z_{33}=Z_3+Z_4=225+j1,079*10^5$$

$$E_{11}=0$$

$$E_{22}=0$$

$$E_{33}=E_3=90$$

в. складемо рівняння за контурних струмів:

$$\begin{cases} I_{11}*Z_{11}+I_{22}*Z_{12}+I_{33}*Z_{13}=E_{11} \\ I_{11}*Z_{21}+I_{22}*Z_{22}+I_{33}*Z_{23}=E_{22} \\ I_{11}*Z_{31}+I_{22}*Z_{32}+I_{33}*Z_{33}=E_{33} \end{cases}$$

г. підставимо значення в систему і розрахуємо значення контурних струмів:

$$\begin{cases} (130+j1,181*10^5)*I_{11}-j1,181*10^5*I_{22}=0 \\ -j1,181*10^5*I_{11}+(115+j1,179*10^5)*I_{22}+(-115+j180,9)*I_{33}=0 \\ (-115+j180,9)*I_{22}+(225+j1,079*10^5)*I_{33}=90 \end{cases}$$

$$I_{11}=-3,171*10^{-5}-j0,0004353$$

$$I_{22}=-3,215*10^{-5}-j0,0004347$$

$$I_{33}=1,329*10^{-6}-j0,0008334$$

д. за контурними струмами розрахуємо комплексні струми:

$$I_1=I_{11}=-3,171*10^{-5}-j0,0004353$$

$$I_2=-I_{11}+I_{22}=-4,395*10^{-7}+j5,779*10^{-7}$$

$$I_3=-I_{22}+I_{33}=3,348*10^{-5}-j0,0003987$$

$$I_4=I_{33}=1,329*10^{-6}-j0,0008334$$

### Перевірка за балансом потужностей:

- $|I|^2_2 \cdot j \cdot \omega L_2 + |I|^2_3 \cdot R_2 - |I|^2_3 \cdot j / (\omega C_2) + |I|^2_1 \cdot R_1 - |I|^2_1 \cdot j / (\omega C_1) + |I|^2_4 \cdot R_3 + |I|^2_4 \cdot j \cdot \omega L_3 = j6,226 \cdot 10^{-8} + 1,841 \cdot 10^{-5} - j2,89610^{-5} + 2,476 \cdot 10^{-5} - j2,807 \cdot 10^{-5} + 7,64 \cdot 10^{-5} + j0,07506 = 0,0001196 + j0,07501$
- $(\operatorname{Re}(I_4) - j \cdot \operatorname{Im}(I_4)) \cdot E_3 = 0,0001196 + j0,07501 = 0,0001196 + j0,03631$
- Похибка:  $0,0001196 + j0,07501 - 0,0001196 + j0,03631 = j0,0387$

### Розрахунок комплексних напруг:

$$U_1 = I_1 Z_1 = (-3,171 \cdot 10^{-5} - j0,0004353) \cdot (130 - j147,5) = -0.06832905 - 0.051911775j$$

$$U_2 = I_2 Z_2 = (-4,395 \cdot 10^{-7} + j5,779 \cdot 10^{-7}) \cdot (j1,181 \cdot 10^5) = -0.06824999 - 0.005190495j$$

$$U_3 = I_3 Z_3 = (3,348 \cdot 10^{-5} - j0,0003987) \cdot (115 - j180,9) = -0.06827463 - 0.051907032j$$

$$U_4 = I_4 Z_4 = (1,329 \cdot 10^{-6} - j0,0008334) \cdot (110 + j1,081 \cdot 10^5) = 90.09068619 + 0.0519909j$$

### Визначення дійсних та миттєвих струмів

Розрахуємо амплітуди струмів, їх початкові фази, діючі та миттєві значення:

Амплітуди:

$$I_{1m} = \sqrt{0,00003171^2 + 0,0004353^2} = 0,0004365$$

$$I_{2m} = \sqrt{0,0000004395^2 + 0,0000005779^2} = 0.00000072603$$

$$I_{3m} = \sqrt{0,00003348^2 + 0,0003987^2} = 0,0004001$$

$$I_{4m} = \sqrt{0,000001329^2 + 0,0008334^2} = 0,0008334$$

Початкові фази:

$$\Psi_{i1} = \arctg(0,0004353 / 0,00003171) = 85,83$$

$$\Psi_{i2} = \arctg(0,0000005779 / 0,0000004395) = 52,97$$

$$\Psi_{i3} = \arctg(0,0003987 / 0,00003348) = 85,19$$

$$\Psi_{i4} = \arctg(0,0008334 / 0,000001329) = 89,95$$

Діючі значення:

$$I_1 = I_{1m} / \sqrt{2} = 0.0003087$$

$$I_2 = I_{2m} / \sqrt{2} = 0.00000051339$$

$$I_3 = I_{3m} / \sqrt{2} = 0.0002829$$

$$I_4 = I_{4m} / \sqrt{2} = 0.0005893$$

Миттєві значення ( $i = I_{im} * \sin(\omega t + \Psi_i)$ ):

$$i_1 = 0.0003087 * \sin(2513t + 85,83)$$

$$i_2 = 0.00000051339 * \sin(2513t + 52,97)$$

$$i_3 = 0.0002829 * \sin(2513t + 85,19)$$

$$i_4 = 0.0005893 * \sin(2513t + 89,95)$$

### **Визначення дійсних та миттєвих напруг**

Розрахуємо амплітуди напруг, їх початкові фази, діючі та миттєві значення:

Амплітуди:

$$U_{1m} = \sqrt{0.06832905^2 + 0.051911775^2} = 0.085812$$

$$U_{2m} = \sqrt{0.06824999^2 + 0.005190495^2} = 0.068447$$

$$U_{3m} = \sqrt{0.06827463^2 + 0.051907032^2} = 0.085765$$

$$U_{4m} = \sqrt{90.09068619^2 + 0.0519909^2} = 90.09069$$

Початкові фази:

$$\Psi_{u1} = \arctg(0.051911775/0.06832905) = 4.345$$

$$\Psi_{u2} = \arctg(0.005190495/0.06824999) = 1.838$$

$$\Psi_{u3} = \arctg(0.051907032/0.06827463) = 37.244$$

$$\Psi_{u4} = \arctg(0.0519909/90.09068619) = 0.033064$$

Діючі значення:

$$U_1 = U_{1m} / \sqrt{2} = 0.0606788$$

$$U_2 = U_{2m} / \sqrt{2} = 0.0483948$$

$$U_3 = U_{3m} / \sqrt{2} = 0.0606455$$

$$U_4 = U_{4m} / \sqrt{2} = 63.704348$$

Миттєві значення ( $u = U_{im} * \sin(\omega t + \Psi_u)$ ):

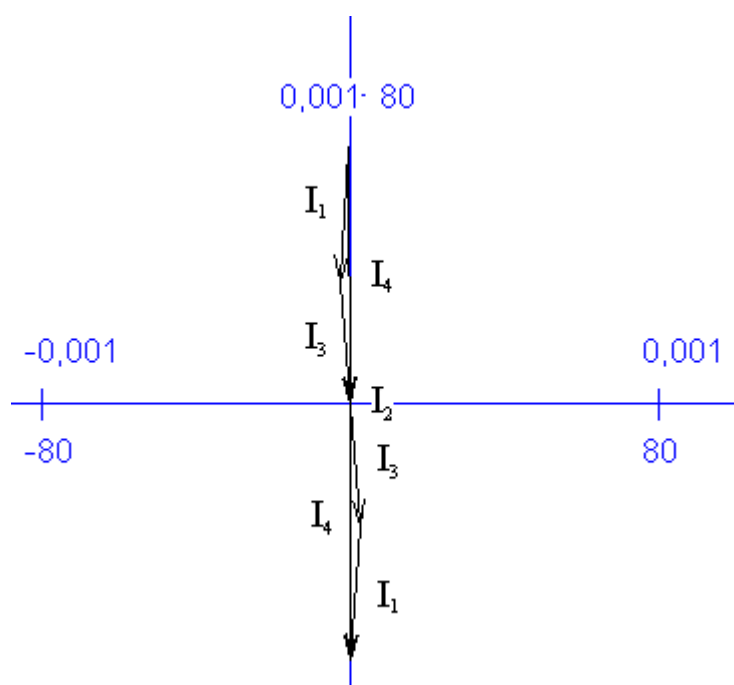
$$u_1 = 0.085812 * \sin(2513t + 4.345)$$

$$u_2 = 0.068447 * \sin(2513t + 1.838)$$

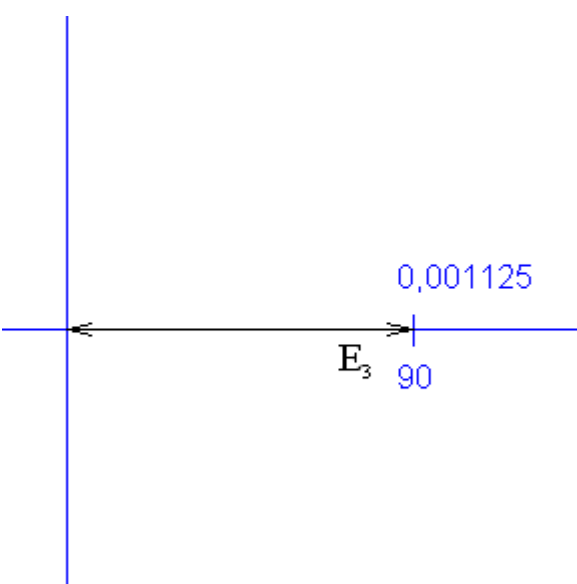
$$u_3 = 0.085765 * \sin(2513t + 37.244)$$

$$u_4 = 90.09069 * \sin(2513t + 0.033064)$$

Векторна діаграма струмів (масштаб 0.25 мА/см)



Топографічна діаграма напруг (з урахуванням  $E_3$  масштаб 20 В/см)



Топографічна діаграма напруг (масштаб 0.0015 В/см )

