

УДК 621.3.012

Козлов В.В.<sup>1</sup>, Набокова О.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> канд. техн. наук, доц. НУ "Запорізька політехніка"

<sup>2</sup> доц. НУ "Запорізька політехніка"

### **АНАЛІЗ ЕЛЕКТРИЧНИХ КІЛ НЕСИНУСОЇДНОГО СТРУМУ ЗА ДОПОМОГОЮ ПАКЕТУ MATHCAD**

За останні роки в електротехніці все більше використовуються напівпровідникові перетворювачі, що потребує аналізу електричних кіл які містять джерела несинусоїдних ЕРС. Такі розрахунку доцільно виконувати за

допомогою комп'ютерних програм. Найбільш популярним пакетом програм комп'ютерної математики, який використовується в електротехнічних розрахунках, є MathCAD. Пакет MathCAD створювався як потужний мікрокалькулятор, що дозволяє легко справлятися з рутинними завданнями. Головною перевагою пакета MathCAD є запис складних математичних виразів в тому вигляді, в якому вони зазвичай записуються та можливість створення вбудованими засобами високоякісних технічних звітів з таблицями, графіками, текстом.

У якості приклада розглянемо аналіз однофазного розгалуженого електричного кола, яке складається з резистивного, індуктивного та ємнісного елементів та джерела несинусоїдної напруги (рис. 1).

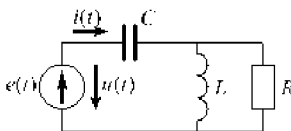


Рисунок 1 – Схема електричного кола несинусоїдного струму

Параметри електричного кола:  $R=100 \text{ Ом}$ ,  $L=40 \text{ мГн}$ ,  $C=20 \text{ мкФ}$ , миттєве значення напруги джерела живлення:

$$u(t) = U_0 + U_{m_1} \cdot \sin(\omega \cdot t + \psi_1) + U_{m_3} \cdot \sin(3\omega \cdot t + \psi_3) + U_{m_5} \cdot \sin(5\omega \cdot t + \psi_5)$$

Постійна складова напруги  $U_0 = 20 \text{ В}$ , амплітуди та початкові фази гармонійних складових  $U_{m_1} = 30 \text{ В}$ ,  $U_{m_3} = 15 \text{ В}$ ,  $U_{m_5} = 5 \text{ В}$ ,  $\psi_1 = 0^\circ$ ,  $\psi_3 = 30^\circ$ ,  $\psi_5 = 60^\circ$ . Частота головної гармоніки  $f = 50 \text{ Гц}$ .

Потрібно визначити струм на вході електричного кола, його діюче значення та активну, реактивну та повну потужності і коефіцієнт потужності. Побудувати хвильові діаграми струму та напруги джерела.

Замінімо задане джерело джерелом постійної напруги  $U_0$  та трьома джерелами синусоїдної напруги (рис. 2)

$$U_{m_1} \cdot \sin(\omega \cdot t + \psi_1), U_{m_3} \cdot \sin(3\omega \cdot t + \psi_3), U_{m_5} \cdot \sin(5\omega \cdot t + \psi_5)$$

Для розрахунку скористаємося методом накладення. Визначимо комплекс повного опору електричного кола для  $k$ -ої гармоніки

$$\underline{Z}_k = -\frac{j}{k \cdot \omega \cdot C} + \frac{R \cdot j \cdot k \cdot \omega \cdot L}{R + j \cdot k \cdot \omega \cdot L} = Z_k \cdot e^{j\varphi_k}$$

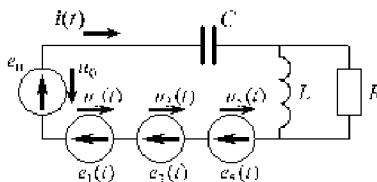


Рисунок 2 – Схема електричного кола з декількома джерелами

Комплексну амплітуду  $k$ -ої гармоніки струму визначаємо як відношення комплексної амплітуди  $k$ -ої гармоніки напруги джерела до комплексу повного опору для відповідної гармоніки. Слід відзначити, що у зв'язку з тим, що на вході електричного кола розташований ємнісний елемент, то постійна складова струму дорівнює нулю.

Нижче наведено запис розрахунку у середовищі Mathcad. Враховуючи, що амплітуди струму та напруги значно відрізняються, то на хвильовій діаграмі значення струму збільшено у 50 разів (рис. 3).

$$\begin{aligned}
 R &:= 100 & L &:= 40 \cdot 10^{-3} & C &:= 20 \cdot 10^{-6} & f &:= 50 \\
 U_0 &:= 20 & U_{m1} &:= 30 & U_{m3} &:= 15 & U_{m5} &:= 5 \\
 \psi_1 &:= 0 \text{ deg} & \psi_3 &:= 30 \text{ deg} & \psi_5 &:= 60 \text{ deg}
 \end{aligned}$$

$$u(t) := U_0 + U_{m1} \cdot \sin(\omega \cdot t + \psi_1) + U_{m3} \cdot \sin(3 \cdot \omega \cdot t + \psi_3) + U_{m5} \cdot \sin(5 \cdot \omega \cdot t + \psi_5)$$

$$Z_1 := \frac{-j}{\omega \cdot C} + \frac{R \cdot j \cdot \omega \cdot L}{R + j \cdot \omega \cdot L} \quad \phi_1 := \arg(Z_1) \quad \text{Im}1 := \frac{U_{m1}}{|Z_1|}$$

$$Z_1 = 1.555 - 146.784i \quad \phi_1 = -89.393 \text{ deg} \quad \text{Im}1 = 0.204$$

$$Z_3 := \frac{-j}{3 \cdot \omega \cdot C} + \frac{R \cdot j \cdot 3 \cdot \omega \cdot L}{R + j \cdot 3 \cdot \omega \cdot L} \quad \phi_3 := \arg(Z_3) \quad \text{Im}3 := \frac{U_{m3}}{|Z_3|}$$

$$Z_3 = 12.444 - 20.044i \quad \phi_3 = -58.157 \text{ deg} \quad \text{Im}1 = 0.636$$

$$Z_5 := \frac{-j}{5 \cdot \omega \cdot C} + \frac{R \cdot j \cdot \omega \cdot L}{R + j \cdot \omega \cdot L} \quad \phi_5 := \arg(Z_1) \quad \text{Im}5 := \frac{U_{m1}}{|Z_1|}$$

$$Z_5 = 28.304 + 13.217i \quad \phi_5 = 25.03 \text{ deg} \quad \text{Im}5 = 0.16$$

$$U := \sqrt{U_0 + \left(\frac{U_{m1}}{\sqrt{2}}\right)^2 + \left(\frac{U_{m3}}{\sqrt{2}}\right)^2 + \left(\frac{U_{m5}}{\sqrt{2}}\right)^2}$$

$$I := \sqrt{I_0 + \left(\frac{I_{m1}}{\sqrt{2}}\right)^2 + \left(\frac{I_{m3}}{\sqrt{2}}\right)^2 + \left(\frac{I_{m5}}{\sqrt{2}}\right)^2}$$

$$U = 31.225 \quad I = 0.486$$

$$P := \frac{U_{m1} \cdot I_{m1}}{2} \cdot \cos(\phi_1) + \frac{U_{m3} \cdot I_{m3}}{2} \cdot \cos(\phi_3) + \frac{U_{m5} \cdot I_{m5}}{2} \cdot \cos(\phi_5)$$

$$Q := \frac{U_{m1} \cdot I_{m1}}{2} \cdot \sin(\phi_1) + \frac{U_{m3} \cdot I_{m3}}{2} \cdot \sin(\phi_3) + \frac{U_{m5} \cdot I_{m5}}{2} \cdot \sin(\phi_5)$$

$$S := U \cdot I \quad \chi := \frac{P}{S}$$

$$P = 2.91 \quad Q = -6.947 \quad S = 15.163 \quad \chi = 0.192$$

$$i(t) := I_0 + I_{m1} \cdot \cos(\omega \cdot t + \psi_1 - \phi_1) + I_{m3} \cdot \cos(3 \cdot \omega \cdot t + \psi_3 - \phi_3) + I_{m5} \cdot \cos(5 \cdot \omega \cdot t + \psi_5 - \phi_5)$$

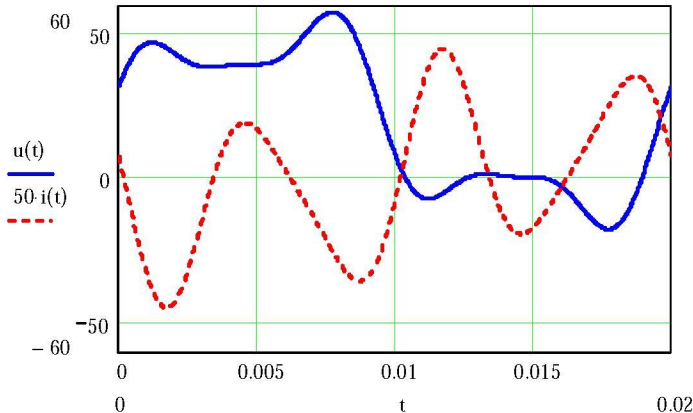


Рисунок 3 – Хвильові діаграми напруги  $i(t)$  та напруги  $u(t)$

Отримані результати можуть бути використанні у навчального процесі.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ**

1. Паранчук Я.С., Мороз В.І. Обчислювання та програмування в MathCAD.
2. Козлов В.В., Набокова В.В. Теоретичні основи електротехніки. Усталені режими у лінійних електричних колах. Навчальний посібник - Запоріжжя: ЗНТУ, 2016. - 428 с.