

УДК 631.362-546

## МОДЕЛЮВАННЯ РЕЖИМІВ ТА ЕЛЕМЕНТІВ ТРИФАЗНОЇ ЛІНІЇ В MATHCAD

Герасименко В.П.<sup>1</sup>, Майбородіна Н.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> асистент, ВП НУБіП України "Ніжинський агротехнічний інститут", м. Ніжин, Україна;

<sup>2</sup> кандидат фізико-математичних наук, старший викладач, ВП НУБіП України "Ніжинський агротехнічний інститут", м. Ніжин, Україна.

**Ключові слова** – струм, захист, ізоляція, математична модель.

**Постановка проблеми.** Розрахувати несиметричний режим, який виник внаслідок короткого замикання у фазі А. Знайти відстань до місця пошкодження в ЛЕП.

**Аналіз останніх досліджень.** Існуючі підходи до вирішення проблеми моделювання у фазних координатах базуються на теорії багатополісників або на спрощеному уявленні трифазних ліній у вигляді груп однофазни. Основна складність моделювання полягає у розв'язці магнітозв'язаних ланцюгів, і якщо взяти за основу підхід синтезу схем заміщення однофазних ліній, то можна отримати досить гнучкий алгоритм формування моделей різних ліній електропередачі за допомогою повнозв'язаних схем.

**Формулювання мети статті.** Використовуючи теорію багатополісників для моделювання ліній електропередачі у фазних координатах із застосуванням програмного пакету Mathcad виконати аналіз рівня напруг та струмів у жилах та екранах кабелів при різних комутаційних режимах.

**Основна частина.** Задані розподіленні параметри трифазної ЛЕП - комплексні власні і взаємні опори у Ом/км та провідності у См/км на один кілометр лінії із номінальною напругою  $U = 110$  кВ та довжиною  $L = 100$  км

$$i := \sqrt{-1};$$

$$L := 100;$$

$$Z1 := 0.296 + i \cdot 0.669;$$

$$Y1 := 10^{-12} + i \cdot 4.29 \cdot 10^{-9};$$

$$Z2 := 0.046 + i \cdot 0.273;$$

$$Y2 := 10^{-12} + i \cdot 8.505 \cdot 10^{-12}.$$

Відомі граничні умови - комплексні діючі значення фазних напруг у кВ та струмів у кА на початку лінії, схема заміщення

параметри якої представлені на рис.1.

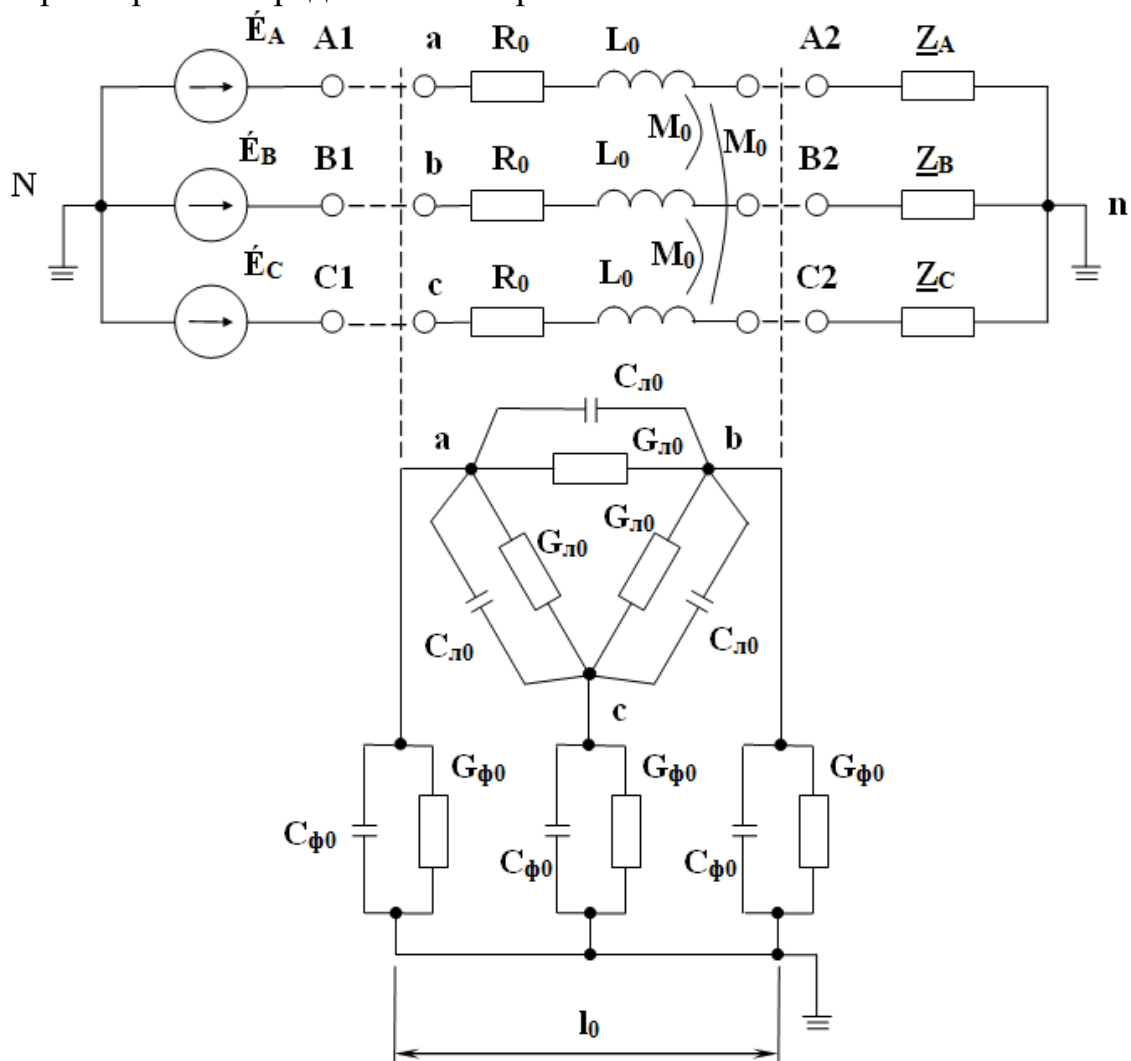


Рис. 1

Для трифазної однорідної лінії необхідно скласти систему шести диференціальних рівнянь відносно комплексних напруг та струмів, які є функціями координати  $x$ , що відраховується від початку лінії. Праві частини цих рівнянь, записаних у формі Коші, мають вигляд

$$\begin{aligned}
 f_1(I_1, I_2, I_3) &:= Z_1 \cdot I_1 + Z_2 \cdot (I_2 + I_3); \\
 f_2(I_1, I_2, I_3) &:= Z_1 \cdot I_2 + Z_2 \cdot (I_1 + I_3); \\
 f_3(I_1, I_2, I_3) &:= Z_1 \cdot I_3 + Z_2 \cdot (I_2 + I_1); \\
 f_4(U_1, U_2, U_3) &:= Y_1 \cdot U_1 - Y_2 \cdot (U_2 + U_3); \\
 f_5(U_1, U_2, U_3) &:= Y_1 \cdot U_2 - Y_2 \cdot (U_1 + U_3); \\
 f_6(U_1, U_2, U_3) &:= Y_1 \cdot U_3 - Y_2 \cdot (U_2 + U_1).
 \end{aligned}$$

Задамо змінний індекс  $k$ , крок  $h$ , відстань до поточної точки в лінії та запишемо граничні умови:

$$\begin{aligned} k &:= 0..L; \quad h := 1; \quad I_k := h \cdot k, U_{10} := 22.42 + i \cdot 48.3, I_{10} := 1.096 + i \cdot 0.003 \\ |U_0| &= 53.25, U_{20} := -24.6 - i \cdot 43.7, I_{20} := -0.067 - i \cdot 0.15, |U_{20}| = 50.148 \\ U_{30} &:= -36.13 + i \cdot 72.7, I_{30} := -0.099 + i \cdot 0.132, |U_{30}| = 81.183 \end{aligned}$$

Розподіл фазних струмів та напруг вздовж лінії знайдемо чисельним методом Ейлера

$$\begin{pmatrix} U_{1_{k+1}} \\ U_{2_{k+1}} \\ U_{3_{k+1}} \\ I_{1_{k+1}} \\ I_{2_{k+1}} \\ I_{3_{k+1}} \end{pmatrix} := \begin{pmatrix} U_{1_k} - h \cdot f_1(I_{1_k}, I_{2_k}, I_{3_k}) \\ U_{2_k} - h \cdot f_2(I_{1_k}, I_{2_k}, I_{3_k}) \\ U_{3_k} - h \cdot f_3(I_{1_k}, I_{2_k}, I_{3_k}) \\ I_{1_k} - h \cdot f_4(U_{1_k}, U_{2_k}, U_{3_k}) \\ I_{2_k} - h \cdot f_5(U_{1_k}, U_{2_k}, U_{3_k}) \\ I_{3_k} - h \cdot f_6(U_{1_k}, U_{2_k}, U_{3_k}) \end{pmatrix}$$

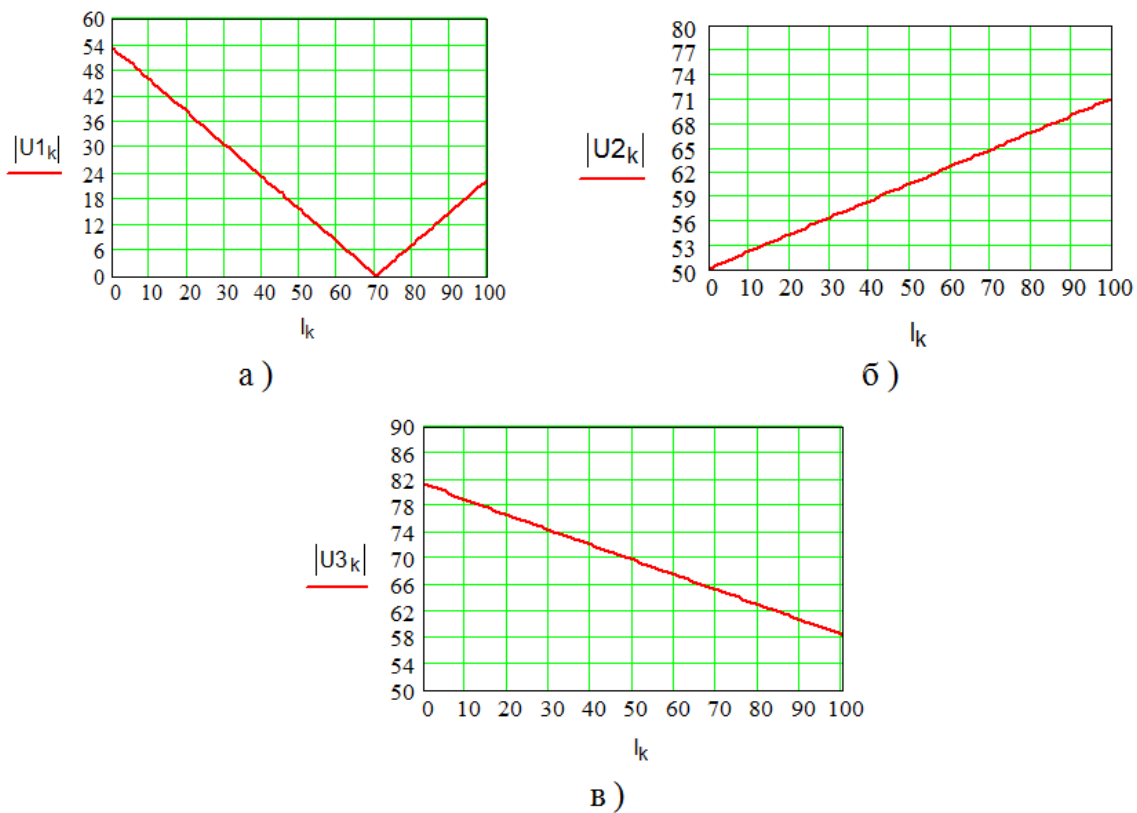
Вхідні комплексні опори фаз в лінії та величини нульової послідовності у методі симетричних складових знаходяться із наступних виразів

$$\begin{aligned} Z_{1k} &:= \frac{U_{1k}}{I_{1k}}; \quad Z_{2k} := \frac{U_{2k}}{I_{2k}}; \quad Z_{3k} := \frac{U_{3k}}{I_{3k}}; \quad U_{0k} := \frac{U_{1k} + U_{2k} + U_{3k}}{3}; \\ I_{0k} &:= \frac{I_{1k} + I_{2k} + I_{3k}}{3}; \quad Z_{0k} := \frac{U_{0k}}{I_{0k}}; \quad S_{0k} := |(I_{0k})^2| \cdot Z_{0k}. \end{aligned}$$

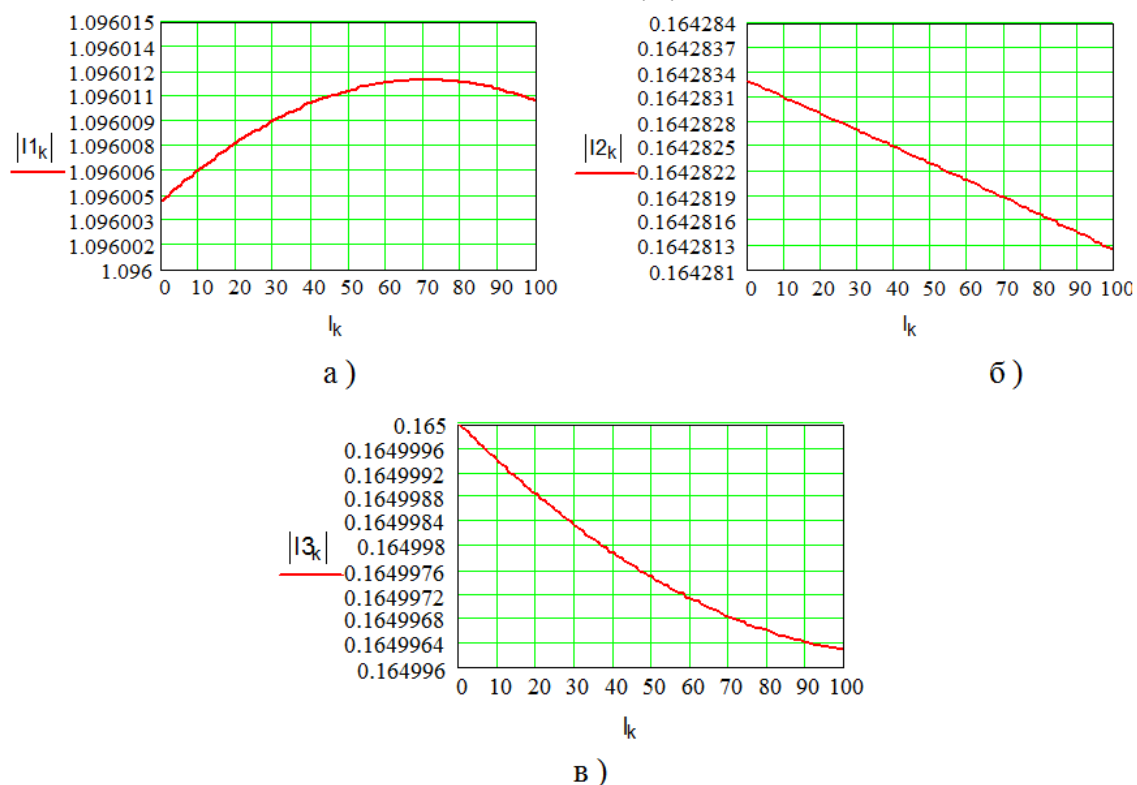
Розподіл вздовж лінії комплексних значень фазних напруг і струмів знаходиться із розв'язку наведеної вище системи диференціальних рівнянь.

Графіки розподілу діючих значень напруг зображені на рис. 2 а,б,в. Розподіл діючих значень струмів в фазах лінії представлено на рис.3 а, б, в. Графіки розподілу вздовж лінії модуля та аргументу вхідного комплексного опору фази А зображені на рис.4 а, б.

Графіки модулів та аргументів симетричних складових величин нульової послідовності показані на рис. 5 а, б, в, г.



в)  
Рис.2.



в)  
Рис.3.

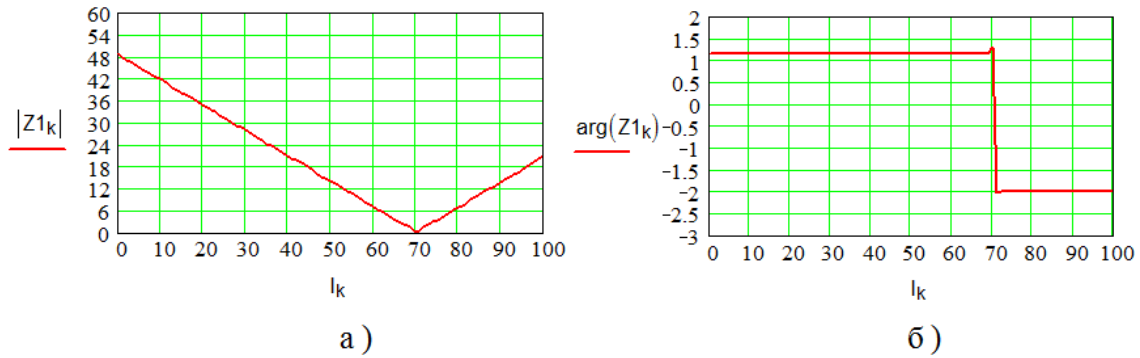


Рис. 4.

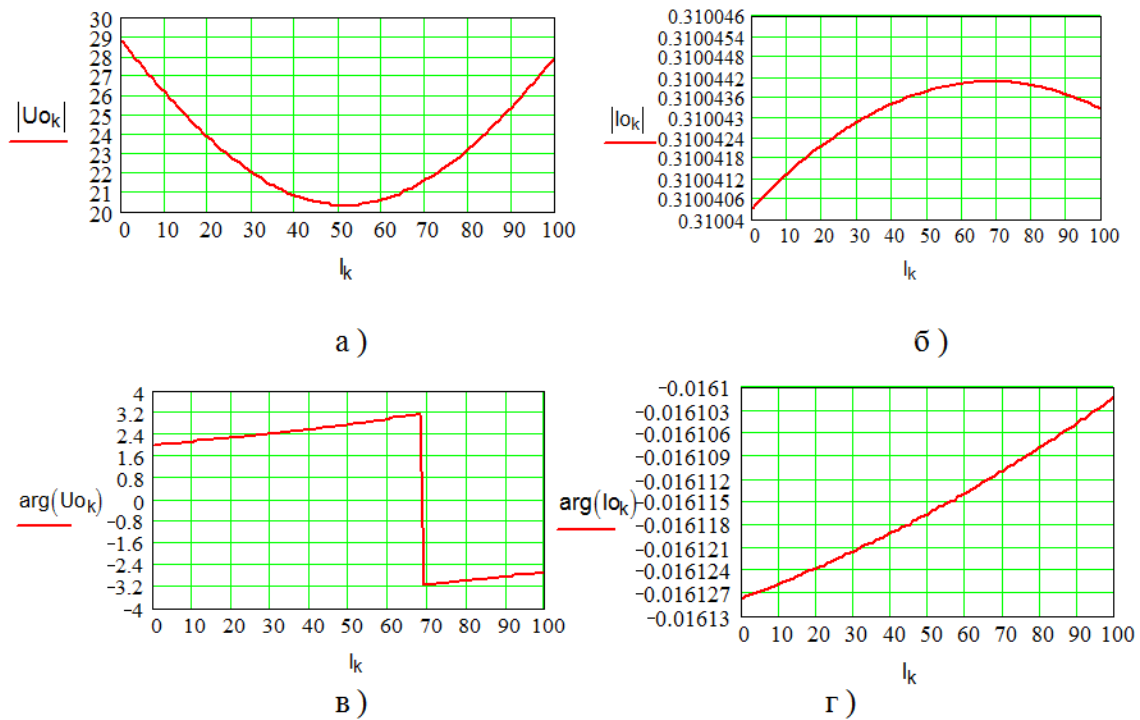


Рис.5.

Запишемо комплексні значення напруг у кВ та струмів у кА для трьох точок: початку лінії  $k=0$ , місця однофазного замикання  $k=70$  та кінця лінії  $k=100$ .

$$\begin{aligned}
 I_{170} &= 1.096 + 2.997i \times 10^{-3} ; U_{170} = 0.042 + 0.142i ; I_{270} = -0.067 - 0.15i ; \\
 U_{270} &= -30.866 - 56.942i ; I_{370} = -0.099 + 0.132i ; \\
 U_{370} &= -34.02 + 55.41i ; \\
 U_{1100} &= -9.549 - 20.497i ; I_{1100} = 1.096 + 2.997i \times 10^{-3} ; \\
 I_{2100} &= -0.067 - 0.15i ; U_{2100} = -33.552 - 62.617i ; I_{3100} = -0.099 + 0.132i ; \\
 U_{3100} &= -33.115 + 47.999i .
 \end{aligned}$$

Знайдемо діючі значення фазних напруг та струмів фази А в різних точках:

$$\begin{aligned} |U_{10}| = 53.25 & ; & |U_{170}| = 0.148 & ; & |U_{1100}| = 22.612 & ; \\ |I_{10}| = 1.096 & ; & |I_{170}| = 1.096 & ; & |I_{1100}| = 1.096 & . \end{aligned}$$

Запишемо модулі напруг та струмів нульової послідовності:

$$\begin{aligned} |U_{00}| = 28.758 & ; & |U_{070}| = 21.62 & ; & |U_{0100}| = 27.972 & ; \\ |I_{00}| = 0.31 & ; & |I_{070}| = 0.31 & ; & |I_{0100}| = 0.31 & . \end{aligned}$$

Розглянемо випадок, коли задані комплексні фазні напруги та струми в кінці лінії і координата  $x$  відраховується від кінця. Запишемо граничні умови:

$$\begin{aligned} U_{10} & := U_{1100}, & U_{20} & := U_{2100}, & U_{30} & := U_{3100}, \\ I_{10} & := I_{1100}, & I_{20} & := I_{2100}, & I_{30} & := I_{3100}. \end{aligned}$$

У алгоритмі розв'язку системи диференціальних рівнянь трифазної однорідної лінії, яка була наведена вище, знак перед кроком  $h$  треба поміняти на "плюс".

$$\begin{pmatrix} U_{1k+1} \\ U_{2k+1} \\ U_{3k+1} \\ I_{1k+1} \\ I_{2k+1} \\ I_{3k+1} \end{pmatrix} := \begin{pmatrix} U_{1k} + h \cdot f_1(I_{1k}, I_{2k}, I_{3k}) \\ U_{2k} + h \cdot f_2(I_{1k}, I_{2k}, I_{3k}) \\ U_{3k} + h \cdot f_3(I_{1k}, I_{2k}, I_{3k}) \\ I_{1k} + h \cdot f_4(U_{1k}, U_{2k}, U_{3k}) \\ I_{2k} + h \cdot f_5(U_{1k}, U_{2k}, U_{3k}) \\ I_{3k} + h \cdot f_6(U_{1k}, U_{2k}, U_{3k}) \end{pmatrix}.$$

Знайдемо та порівняємо значення комплексів струмів і напруг на початку лінії для першого випадку

$$\begin{aligned} U_{1100} & = 22.42 + 48.3i & ; & & I_{1100} & = 1.096 + 3i \times 10^{-3} & ; \\ U_{2100} & = -24.6 - 43.7i & ; & & & & \\ I_{2100} & = -0.067 - 0.15i & ; & & U_{3100} & = -36.13 + 72.7i & ; \\ I_{3100} & = -0.099 + 0.132i & . & & & & \end{aligned}$$

Значення граничних умов на початку лінії співпали для обох систем.

### Висновок:

1. При відомих комплексних значеннях струмів та напруг на початку або в кінці лінії розраховується місце пошкодження.
2. При відомих значеннях симетричних складових струмів та напруг нульової послідовності на кінцях лінії послідовним пошуком та звуженням границь ділянок із шуканим місцем пошкодження за

допомогою алгоритмів розв'язку наведених двох систем диференціальних рівнянь однорідної лінії можемо знайти відстань до місця замикання.

### Список літератури

1. Бернас С., Цек З. Математические модели элементов электроэнергетических систем: Пер. с польск.-М.:Энергоиздат, 1982.-312с.
2. Каганов З.Г. Электрические цепи с распределенными параметрами и цепные схемы. М., Энергоатомиздат, 1990, 248 с.
3. Плис А.И., Сливина Н.А. Mathcad 2000. Лабораторный практикум по высшей математике. - М.: Высш. шк., 2000. - 716 с.: ил.
4. Притака І.П., Козирський В.В. Електропостачання сільського господарі : -К.: Урожай, 1995. -343 с.