

УДК 631.362-546

МОДЕЛЮВАННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ ТА ЕЛЕМЕНТІВ ТРИФАЗНОЇ ЛІНІЇ В MATHCAD

Герасименко В.П., асистент кафедри електрифікованих технологій в аграрному виробництві, ВП НУБіП України "Ніжинський агротехнічний інститут".

Майбородіна Н.В., кандидат фізико-математичних наук, старший викладач кафедри прикладної математики і моделювання ВП НУБіП України "Ніжинський агротехнічний інститут".

Ожема В.Ф., старший викладач кафедри прикладної математики і моделювання ВП НУБіП України "Ніжинський агротехнічний інститут".

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

Постановка проблеми. Основна складність моделювання режимів роботи та елементів трифазної лінії в MathCAD полягає у розв'язці магнітозв'язаних ланцюгів. За основу взято підхід синтезу схем заміщення однофазних ліній, який застосовано для розрахунку несиметричного режиму, що виникає внаслідок короткого замикання у фазі А, та для знаходження відстані до місця пошкодження в ЛЕП.

Аналіз останніх досліджень. Існуючі підходи до вирішення проблеми моделювання у фазних координатах базуються на теорії багатополосників 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 багатополосників 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. Вихідні дані:

$$i := \sqrt{-1}; \quad L := 100;$$

$$Z1 := 0.296 + i \cdot 0.669; \quad Y1 := 10^{-12} + i \cdot 4.29 \cdot 10^{-9};$$

$$Z2 := 0.046 + i \cdot 0.273; \quad Y2 := 10^{-12} + i \cdot 8.505 \cdot 10^{-12}.$$

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.

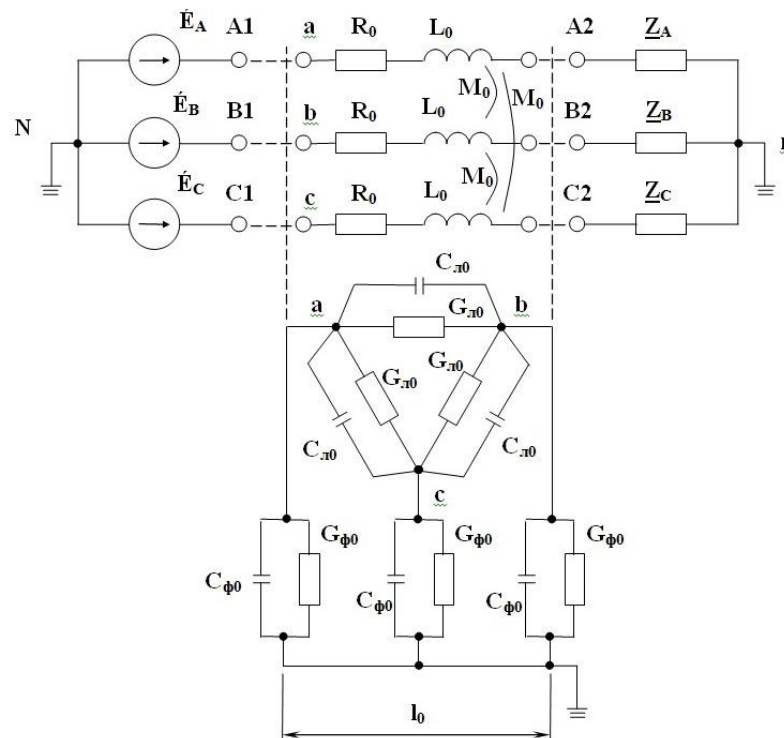


Рис. 1 Схема заміщення трифазної лінії

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:

$$f1(I1, I2, I3) := Z1 \cdot I1 + Z2 \cdot (I2 + I3);$$

$$f2(I1, I2, I3) := Z1 \cdot I2 + Z2 \cdot (I1 + I3);$$

$$f3(I1, I2, I3) := Z1 \cdot I3 + Z2 \cdot (I2 + I1);$$

$$f4(U1, U2, U3) := Y1 \cdot U1 - Y2 \cdot (U2 + U3);$$

$$f5(U1, U2, U3) := Y1 \cdot U2 - Y2 \cdot (U1 + U3);$$

$$f_6(U_1, U_2, U_3) := Y_1 \cdot U_3 - Y_2 \cdot (U_2 + U_1).$$

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

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

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:

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

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.

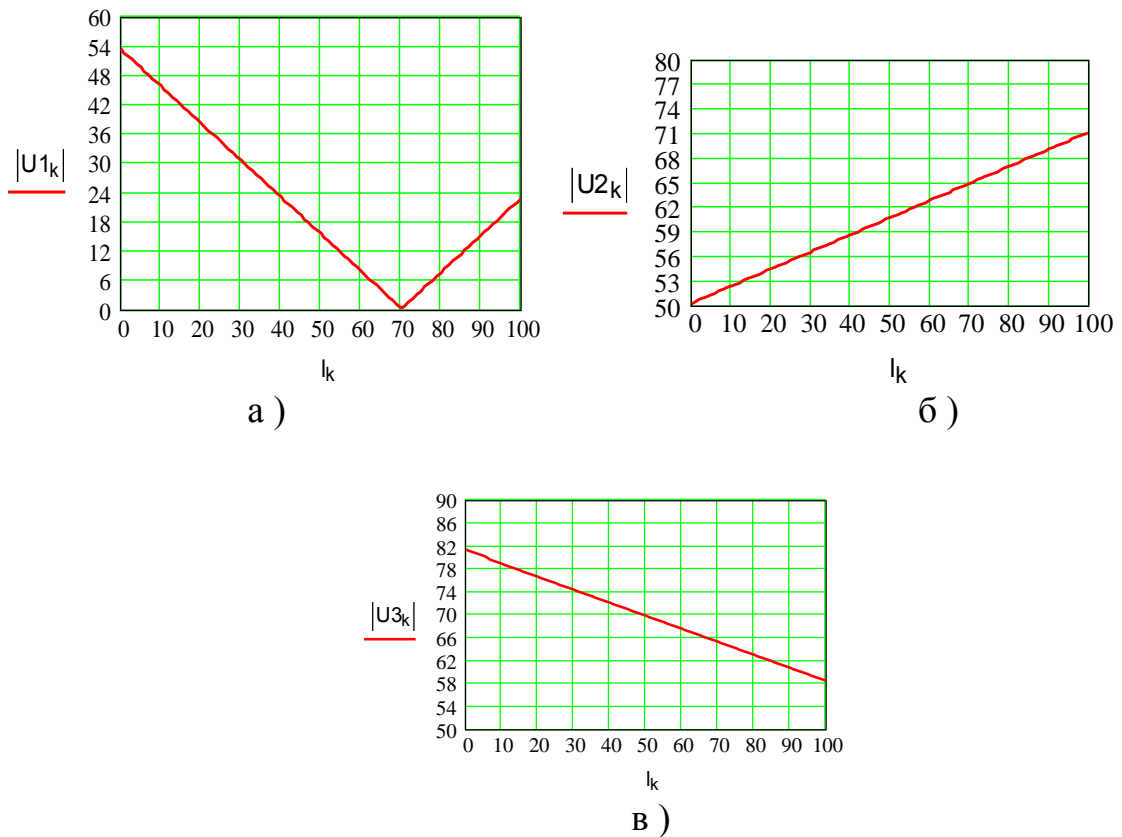
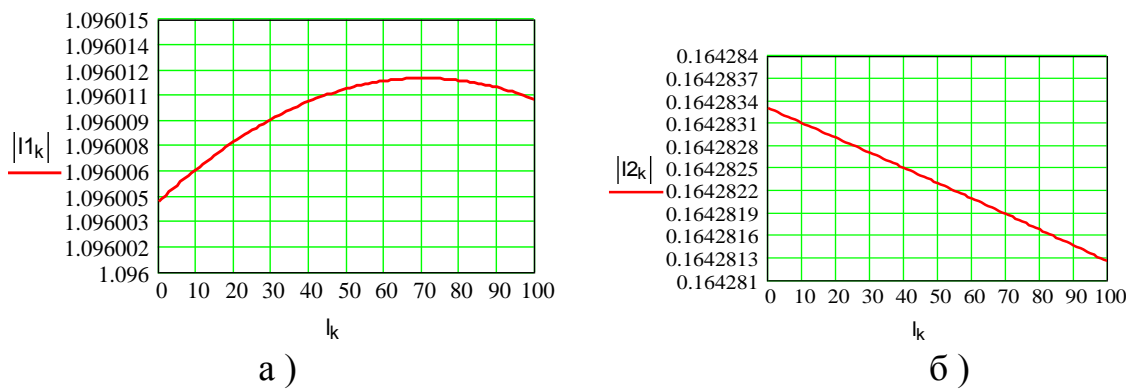


Рис.2. Графіки розподілу діючих значень напруг

Розподіл діючих значень струмів в фазах лінії представлено на рис.3 а, б, в.



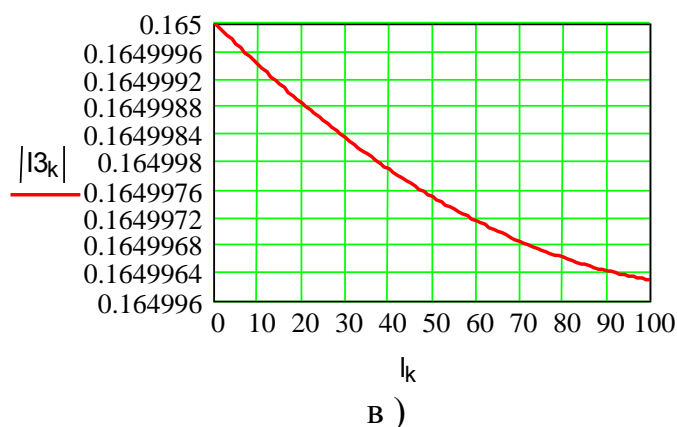


Рис.3. Графіки розподілу діючих значень струмів в фазах лінії

Графіки розподілу вздовж лінії модуля та аргументу вхідного комплексного опору фази А зображені на рис.4 а, б.

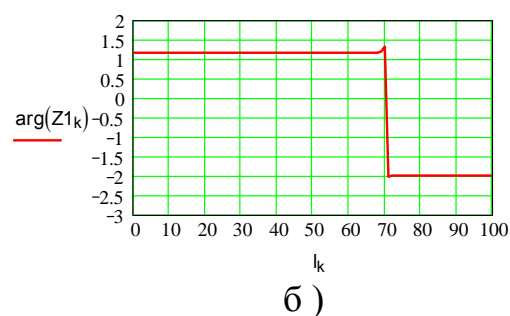
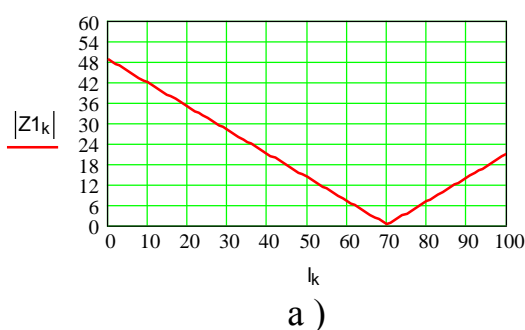
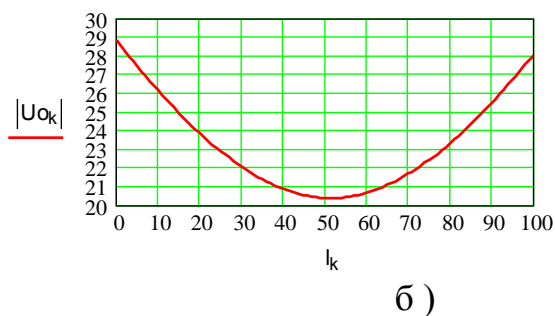
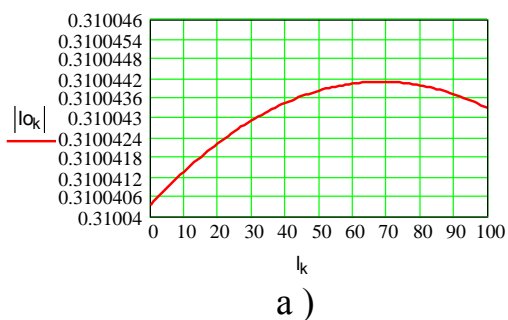


Рис. 4. Графіки розподілу вздовж лінії модуля та аргументу вхідного комплексного опору фази А

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



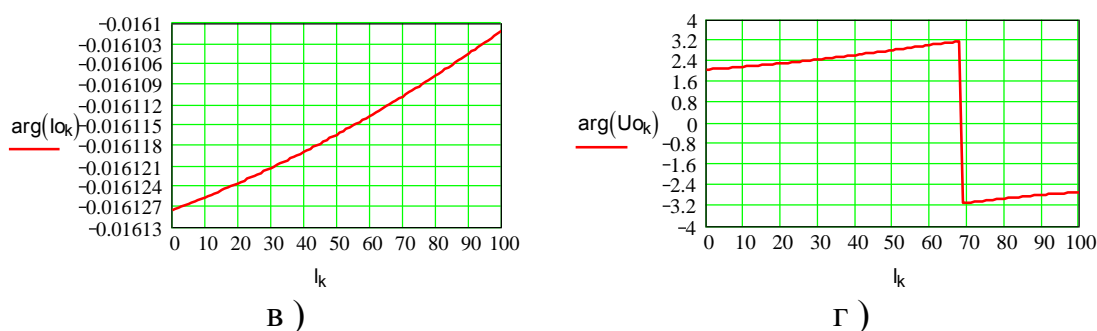


Рис.5. Графіки модулів та аргументів симетричних складових величин нульової послідовності

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:

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 господарства. -К.: Урожай, 1995. -343 с.