

УДК 621.317

К.Л. ГОРЯЩЕНКО, І.В. ГУЛА, М.Д. ДОРОТЮК

Хмельницький національний університет

МОДЕЛЮВАННЯ ПОВЕДІНКИ КАБЕЛЬНОЇ ЛІНІЇ У СЕРЕДОВИЩІ PSCAD

В середовищі PSCAD проведено моделювання частотозалежної моделі Бергерона та визначено адекватність існуючої моделі.

Ключові слова: електронно-лічильний метод, метод однократного ноніуса, метод багатократної коінциденції пакетів імпульсів.

K.L. HORIASHCHENKO, I.V. HULA, M.D. DOROTIUK

Khmelnytsky national university

MODELING THE BEHAVIOR OF CABLE LINES IN THE PSCAD

Frequency depended cable model of Bergeron tested in the PSCAD. Cable model of three-phase line tested in case of shortcut with the different frequencies and lengths of line. Tested model of cable line was founded as acceptable in range of 50/60 Hz and not enough adequate at highest frequencies.

Keywords: counting method, single vernier method, method of multiply coincidence of pulses of packages.

Вступ

Відома концепція моделі кабельної лінії – так звана "Z-модель", заснована на підході Кастелланоса та роботах Марті [1, 2, 3] ділить моделювання кабелю на дві частини: ідеальний розподіл лінії, пов'язаний з зовнішнім магнітним полем [L^{ext}] і електричним полем [C], а також розділ втрат, які включає в себе опір [$R(\omega)$], внутрішній потік [$L^{int}(\omega)$] і діелектричні втрати [G]. Ця концепція була розширена на випадок, щоб відрізнити швидкості поширення для різних режимів у зв'язку з кабельними ізоляційними шарами.

Результати z-кабельної моделі показують дуже хороші співвідношення з FDQ кабельної моделі і більше точні, ніж постійні матриці перетворення FD лінійної моделі. сучасні моделі кабельних ліній були представлені у роботі [4]. Порівняння моделей FD, FDQ, zCable для моделювання впливів на лінію за умов короткого замикання, вільного кінця лінії (без навантаження) та імпульсний вплив показано у роботі [5].

Постановка задачі

Представлені моделі провідникових ліній застосовуються в сучасних програмних рішеннях для розв'язання задачі визначення процесів в провідникових лініях. Таким середовищем моделювання є цілий ряд програм EMTP, наприклад середовище моделювання PSCAD. Проте використання моделей потребує оцінки застосовуваності представленої моделі для задачі моделювання.

Основна частина

Компанія Manitoba HVDC Research Centre відома у всьому світі за розробленою її фахівцями програмного середовища моделювання енергосистем, в якій можна просто і наочно виконувати моделювання пере-хідних і сталих процесів, провідних в енергетичних системах, для вирішення різноманітних прикладних і науково-дослідницьких завдань. Manitoba HVDC Research Centre - підрозділ компанії Manitoba Hydro International Ltd, однієї з провідних електроенергетичних компаній Канади.

PSCAD є швидкодіючим, точним і простим інструментом для моделювання роботи енергосистем і силових електронних перетворювачів при їх проектуванні, аналізі, оптимізації та верифікації.

Програма PSCAD з модулем моделювання перехідних процесів EMTDC™ надає широкий вибір

Програмою PSCAD та його ядром моделювання – EMTDC, користуються близько 30 років. PSCAD є один з найбільш потужних і інтуїтивно зрозумілих пакетів САІР доступною. Спектр користувачів PSCAD включає в себе інженерів і вчених з наукових установ, виробників, консультантів, а також використовується для наукових досліджень та академічних інститутів. Він використовується в плануванні, експлуатації, проектування, введення в експлуатацію, підготовки тендерної специфікації, викладання та досліджень.

Користувачі мають можливість створювати в PSCAD власні компоненти. Компоненти можуть бути представлені в вигляді «чорного ящика» з власним алгоритмом роботи, описаним на мові високого рівня (C++, Fortran, MATLAB / Simulink і інші.).

Середовище моделювання PSCAD

Проведемо моделювання перехідних процесів, що мають місце в провідниковій лінії із застосуванням моделі Бергерона.

На рис. 1 показана схема моделі лінії з джерелом живлення та навантаження.

На рис. 2 показана графічна модель трифазної провідникової повітряної лінії, параметри якої відповідають Бергеронівській моделі. Для цієї моделі можна встановлювати такі основні параметри як: відстані між провідниками, відстані провідника від землі, діаметри провідників, а також величину провисання кабелю. А також встановлюються показники провідності та електричного опору.

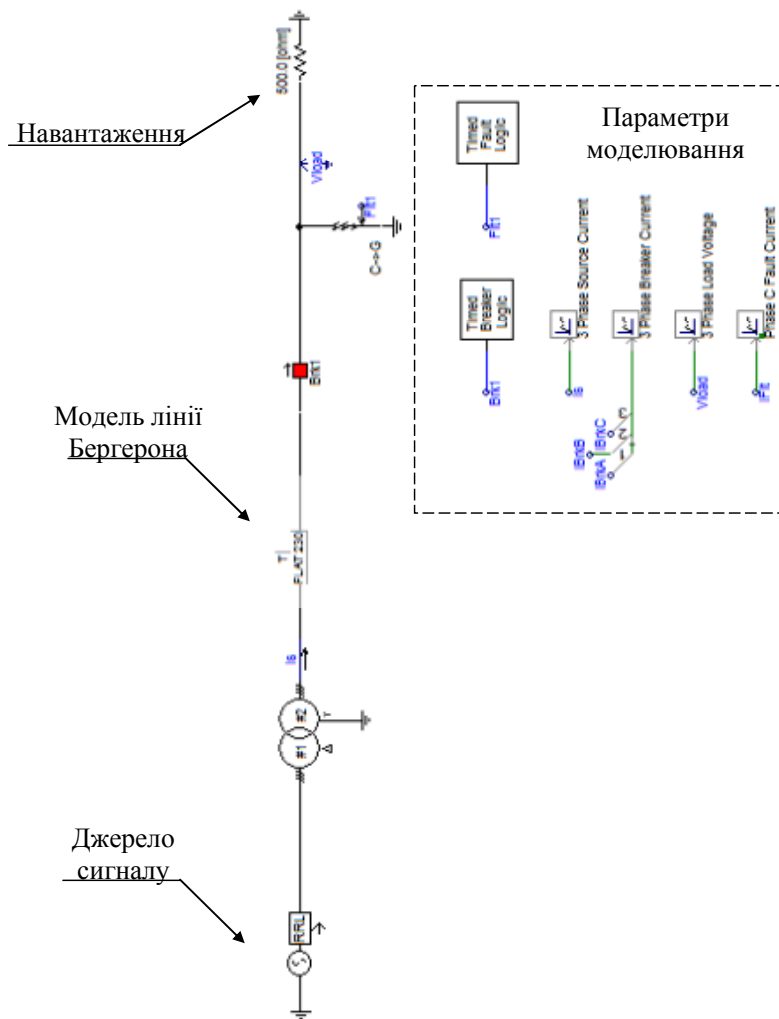


Рис. 1. Структурна схема лінії для моделювання

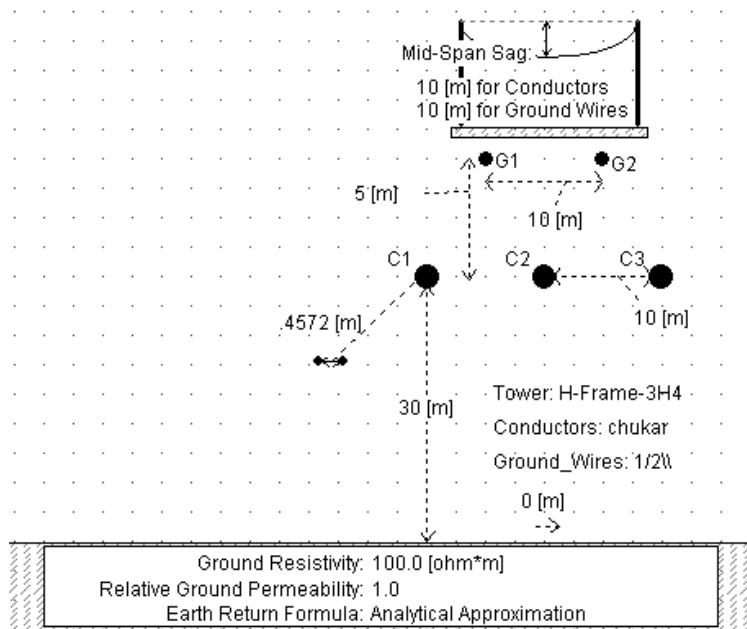


Рис. 2. Бергеронова модель досліджуваної лінії та параметри цієї моделі

Важливим також є можливість в середовищі PSCAD встановлювати параметри джерела струму, навантаження та лінії. На рис. 3 показано вікно встановлення та редагування показників провідникової лінії згідно моделі Бергерона.

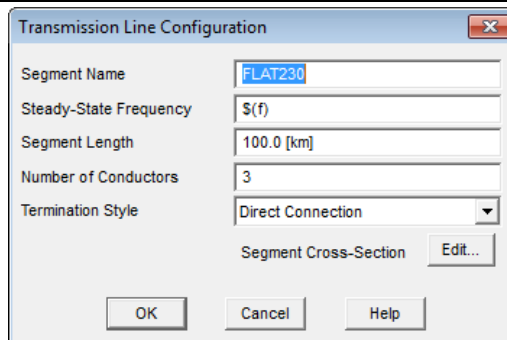


Рис. 3. Параметри Бергеронової моделі лінії довжиною 100 км

Моделювання перехідних процесів в лінії

Основна мета моделювання полягає у виявленні можливості виявлення здатності моделі до адекватного моделювання результатів за умов виникнення короткого замикання по фазі (в даному випадку – С) та відключенні лінії від навантаження після настання короткого замикання.

Виконаємо процес моделювання процесу проходження сигналу в лінії у випадку зміни різних параметрів:

- 1) зміна довжини кабелю – 10, 30, 100 км
- 2) зміна частоти сигналу – 50, 60, 100 Гц

1. Виконаємо дослідження за умов довжини кабелю в 100 км, 30 км, 10 км.

На рис. 4 показана динаміка змін для (а) 10 км, (б) 30 км та (в) 100 км. Як видно з рисунку, зростання довжини кабелю зв'язано з еквівалентною довжиною кабелю. На рисунку можна побачити, що опір лінії зростає, а струм спадає. З рис. 5 видно, що амплітуда струму через розривач зростає стрибкоподібно в момент замикання.

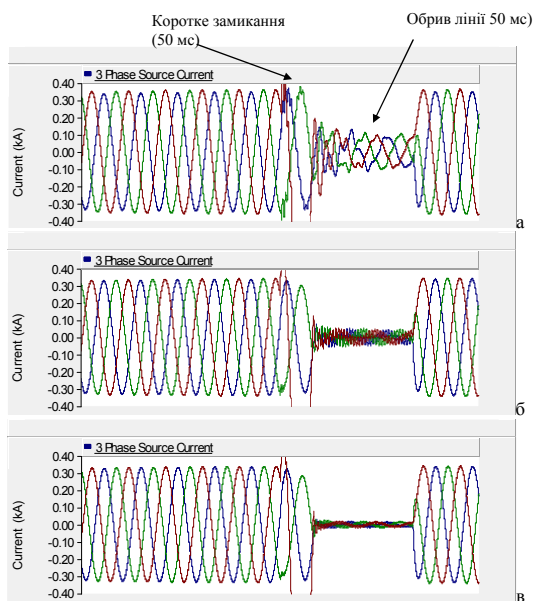


Рис. 4. Зміна струму джерела сигналу при розриві фаз

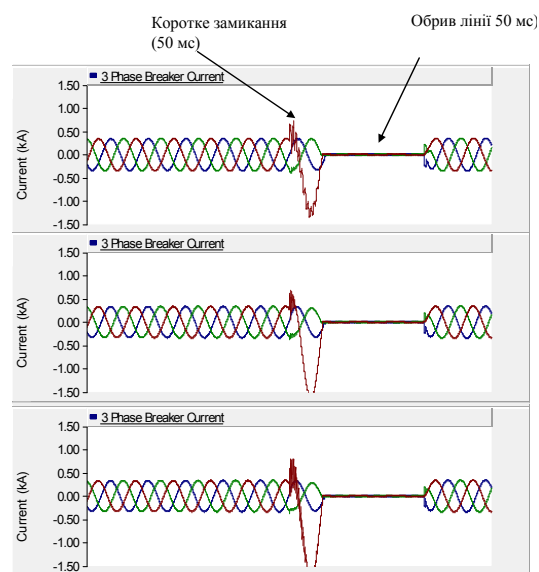


Рис. 5. Зміна струму через розривач на навантаження

2. Проаналізуємо роботу моделі за умов зміни частоти сигналу при довжині кабелю в 100 км, частота 50 Гц (а), 60 Гц (б), 500 Гц (в).

З рис. 6 видно динаміку зміни амплітуди струму від частоти. Як видно, за умов 50 та 60 Гц, графіки практично не змінні. Для частоти 500 Гц має місце суттєве зростання амплітуди як до моменту замикання (стаціонарний режим роботи лінії), так і після замикання. Така поведінка показує налаштованість параметрів моделі до промислових частот 50/60 Гц та потребує зміни їх при застосуванні інших частот.

Цікавим є рис. 7 з точки зору адекватності моделювання фазового зсуву сигналу від частоти вхідного сигналу. Амплітудні значення струмів є рівними між собою (див. рис. 7, а, б). Врахуючи рис. 6, можна стверджувати, що модель в даному випадку надає коректний результат. Для рис. 7, в) зменшена амплітуда сили струму на початок виникнення замикання та навпаки, зростання амплітуди сили струму при завершенні дії короткого замикання вказує на недостатню відповідність параметрів частотозалежної моделі Бергерона та її поведінки за умови роботи на частотах вище за промислові.

Таким чином, виконавши моделювання, встановлено:

- досліджена частотозалежна модель є цілком адекватною, дозволяє врахувати час розповсюдження сигналу в лінії, але має і принципові недоліки;

- модель Бергерона є оптимізованою під частоти промислової частоти 50/60 Гц; при використанні вищих частот спостерігається невідповідність амплітуд напруг на вході та виході лінії
- визначено, що частотозалежна модель Бергерона для трифазної повітряної провідникової лінії враховує фазову сигналу, що розповсюджується в лінії.

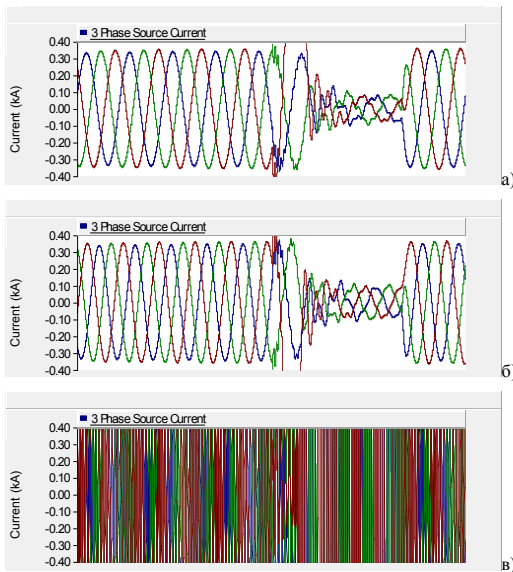


Рис. 6. Зміна струмів в джерелі від частоти: 50 Гц (а), 60 Гц (б), 500 Гц (в)

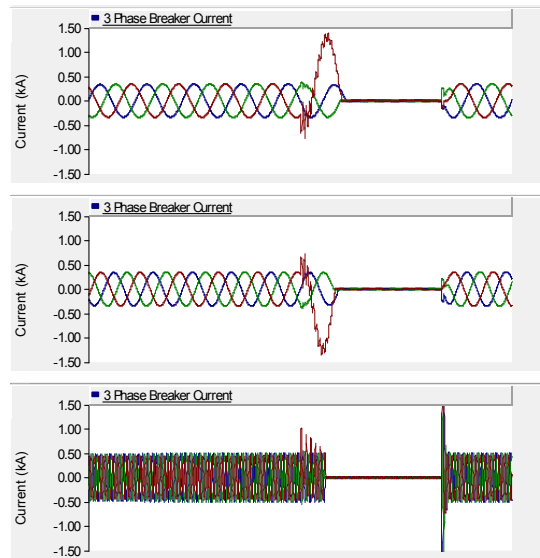


Рис. 7. Зміна струмів через розривач на частотах 50 Гц (а), 60 Гц (б), 500 Гц (в)

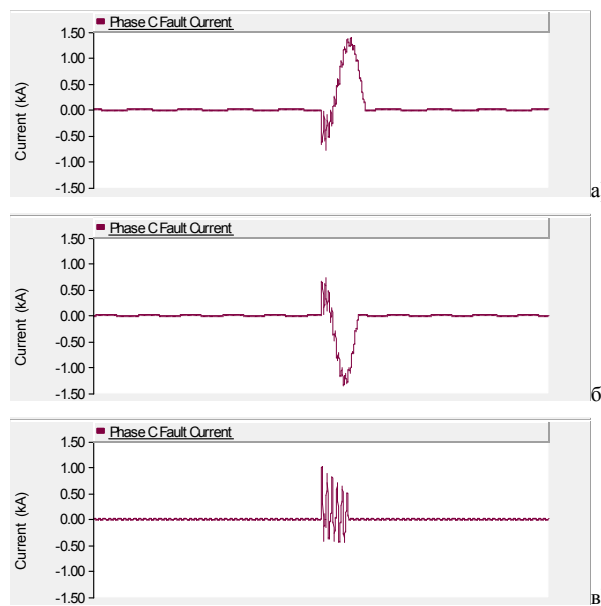


Рис. 8. Зміна струмів через замикач на частотах 50 Гц (а), 60 Гц (б), 500 Гц (в)

Література

1. F. Castellanos, J. Martí, "Full Frequency-Dependent Phase Domain Transmission Line Modal", IEEE Trans. on Power Systems, vol.12, no.3, pp.1331-1339, Aug. 1997.
2. F. Castellanos, J. Martí, "Phase-Domain Multiphase Transmission Line Models", IPST'95, pp.17-22, Lisbon, Portugal, 1995.
3. F. Castellanos, J. Martí, F. Marcano, "Phase-Domain Multiphase transmission Line Models", EPES, Vol.19, No.4, pp.241-248, 1997.
4. Горященко К.Л. Обзор современных моделей провідникових ліній / К.Л. Горященко, В.С. Климчук // Вісник Хмельницького національного університету. – 2014. – №3. – С. 69-74
5. T.C. Yu and J.R. Martí, "zCable model for frequency dependent modelling of cable transmission systems," IPST01 in Rio De Janeiro, Brazil, paper no. IPST01-146, June 2001

Рецензія/Peer review : 10.3.2015 р.

Надрукована/Printed : 16.4.2015 р.
Рецензент: д.т.н. Троцишин І.В.