

РОЗДІЛ 7. ТЕХНІКА І ЕЛЕКТРОФІЗИКА ВИСОКИХ НАПРУГ

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАХИСНОЇ ДІЇ НЕЛІНІЙНОГО ОБМЕЖУВАЧА ПЕРЕНАПРУГ З УРАХУВАННЯМ РОБОЧОЇ НАПРУГИ МЕРЕЖІ

Троценко Є.О., к.т.н., доц., Бржезицький В.О., д.т.н., проф., Галушко В.В., студентка, Гайдук О.О., студент

КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра теоретичної електротехніки

Вступ. Нелінійні обмежувачі перенапруг (ОПН) широко застосовуються для захисту ізоляції обладнання підстанцій від хвиль перенапруг, що набігають з ліній. Хвилі грозових перенапруг виникають в лініях в результаті ударів блискавки. Для розрахунку перехідних процесів на ізоляції обладнання підстанцій як при грозових, так і при комутаційних перенапругах використовують різні програми аналогового і цифрового моделювання електричних і електронних схем. Захисні властивості ОПН можуть залежати від ряду факторів, у тому числі від значення робочої напруги мережі в момент ураження блискавкою. Тому, перед тим як проводити моделювання складних схем підстанцій, доцільно дослідити захисну дію окремого ОПН.

Мета роботи. Використовуючи динамічну модель ОПН, запропоновану в [1], дослідити вплив робочої напруги мережі на захисну дію ОПН шляхом моделювання в демонстраційній версії Micro-Cap Evaluation/Student Version [2].

Матеріали і результати досліджень. Основна схема дослідження зображена на рис. 1.

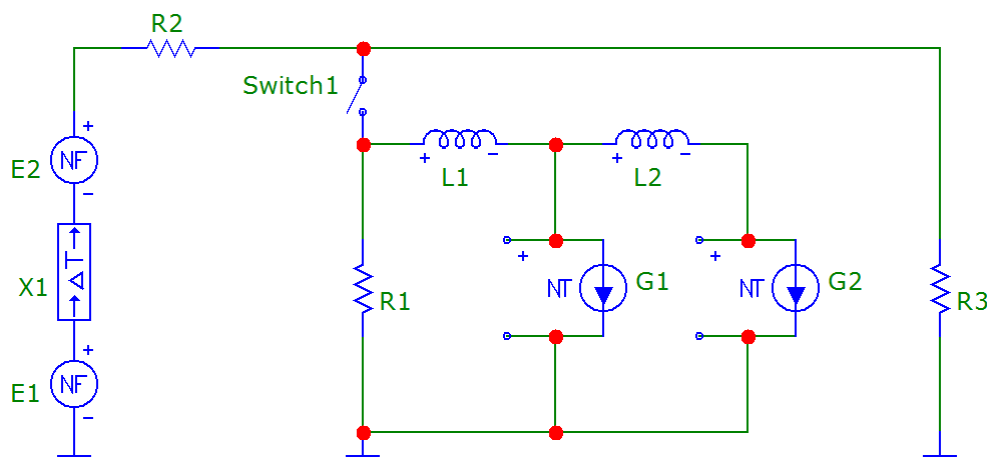


Рисунок 1 – Моделювання ОПН, включеного на стику двох ліній

На рис. 1 R_1 , L_1 , L_2 – лінійні елементи моделі ОПН; G_1 , G_2 – нелінійні елементи моделі ОПН. В схемі на рис. 1 використано спрощену динамічну модель ОПН, що була запропонована в роботі [1]. Нелінійні елементи моделі ОПН реалізовані за допомогою функціональних джерел струму, що керуються напругою (NTIoFV) згідно з [3]. Для дослідження захисної дії ОПН, розглядався

випадок, коли ОПН включений на стику двох ліній нескінченної довжини. ОПН встановлений на підстанції. По одній з ліній на вузлову точку, до якої підключено ОПН набігає імпульсна хвиля.

Падіння імпульсної хвилі на вузлову точку супроводжується заломленням та відбиттям хвилі. Для грозозахисту практичний інтерес представляє заломлена хвиля, що розповсюджується в другій лінії. Схема на рис. 1 складена згідно з правилом еквівалентної хвилі [4]: хвильові опори замінено активними резистивними елементами і до отриманої схеми прикладено подвоєну напругу. Хвильовий опір першої лінії представлений резистором R_2 . Хвильовий опір другої лінії представлений резистором R_3 . Падіння напруги на резисторі R_3 є заломленою хвилею, що розповсюджується у другій лінії. Джерело E_1 представляє собою джерело подвоєної імпульсної напруги (імпульс перенапруги амплітудою 600 кВ і формою 1,2/50 мкс) і описується виразом (1). Джерело E_2 – джерело подвоєної синусоїдальної напруги (фазна напруги мережі 220 кВ) і описується виразом (2).

$$E_1 = 2 \cdot 1,044 \cdot 600 \cdot 10^3 \cdot (e^{-1.400 \cdot 10^4 \cdot t} - e^{-1.917 \cdot 10^6 \cdot t}). \quad (1)$$

$$E_2 = 2 \cdot 220 \cdot 10^3 \cdot \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot t). \quad (2)$$

Елемент X_1 призначений для керування затримкою часу ΔT – моментом появи імпульсної перенапруги в мережі. Розмикання або замикання анімаційного ключа Switch1 дозволяє визначити заломлену хвилю, відповідно, за відсутності або наявності ОПН. В роботі прийнято, що $R_2 = R_3 = 400$ Ом.

Для дослідження було типовий ОПН з такими характеристиками: номінальна напруга $V_n = 180$ кВ; залишкова напруга при струмі 10 кА та хвилі 1/20 мкс $V_{r1/20} = 480$ кВ; залишкова напруга при струмі 10 кА та хвилі 8/20 мкс $V_{r8/20} = 446$ кВ. Згідно з методикою, наведеною в [1] було розраховано, що для такого ОПН: $L_1 = 1,143$ мкГн; $L_2 = 3,430$ мкГн. Опір R_1 згідно з [5] було прийнято рівним 1000 МОм.

Вольт-амперна характеристика (ВАХ) нелінійних елементів моделі ОПН також була задана згідно з методикою [1]. ВАХ нелінійних елементів G_1 та G_2 в схемі на рис. 1 задається у відносних одиницях по відношенню до залишкової напруги на ОПН при хвилі 8/20 мкс з амплітудою 10 кА [1]. Способи задання ВАХ нелінійних елементів ОПН відповідно до синтаксису Micro-Cap Evaluation/Student Version [2] показано в [3] і тому в даній роботі повторно не наводяться.

Результати дослідження представлені на рис. 2-4. Рис. 2 відповідає появі хвилі перенапруги в момент, коли фазна напруга досягає максимального позитивного значення (+179,6 кВ). За відсутності ОПН пікове значення

перенапруги досягає 779,4 кВ (рис. 2,а). Встановлення ОПН дозволяє знизити це значення до 397,2 кВ (рис. 2,б).

Рис. 3 відповідає появі хвилі перенапруги в момент переходу фазної напруги через нуль. За відсутності ОПН пікове значення перенапруги в цьому випадку досягає 599,6 кВ (рис. 3,а). Встановлення ОПН дозволяє знизити це значення до 386,8 кВ (рис. 3,б).

Рис. 4 відповідає появі хвилі перенапруги в момент, коли фазна напруга досягає максимального від'ємного значення (-179,6 кВ). Без ОПН пікове значення перенапруги в цьому випадку досягає 420,1 кВ (рис. 4,а). Зі встановленням ОПН це значення знижується до 359,3 кВ (рис. 4,б).

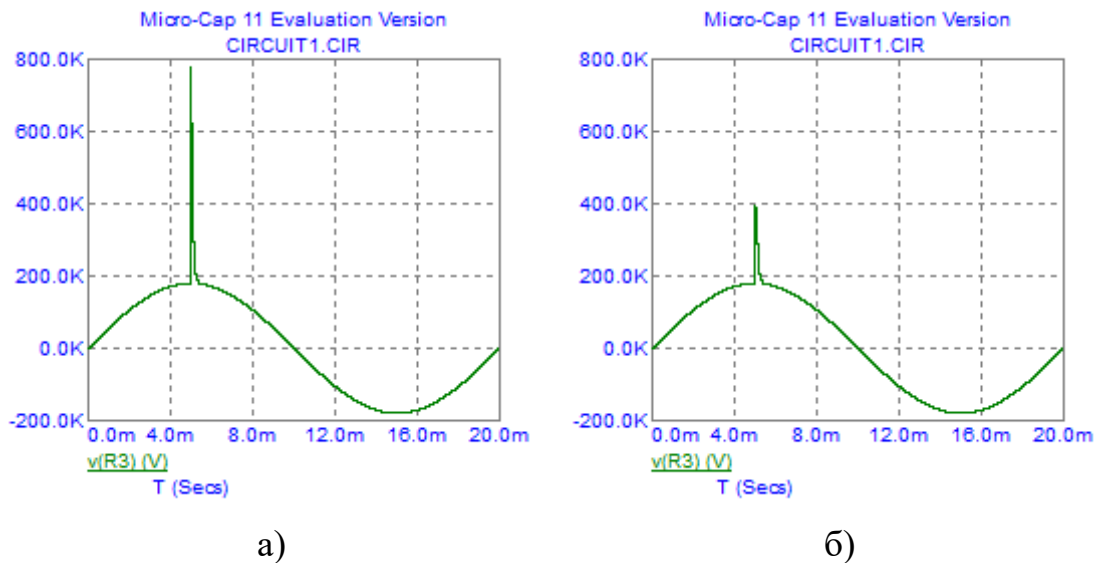


Рисунок 2 – Падіння напруги на R_3 при $\Delta T = 5$ мс:
а) за відсутності ОПН; б) за наявності ОПН.

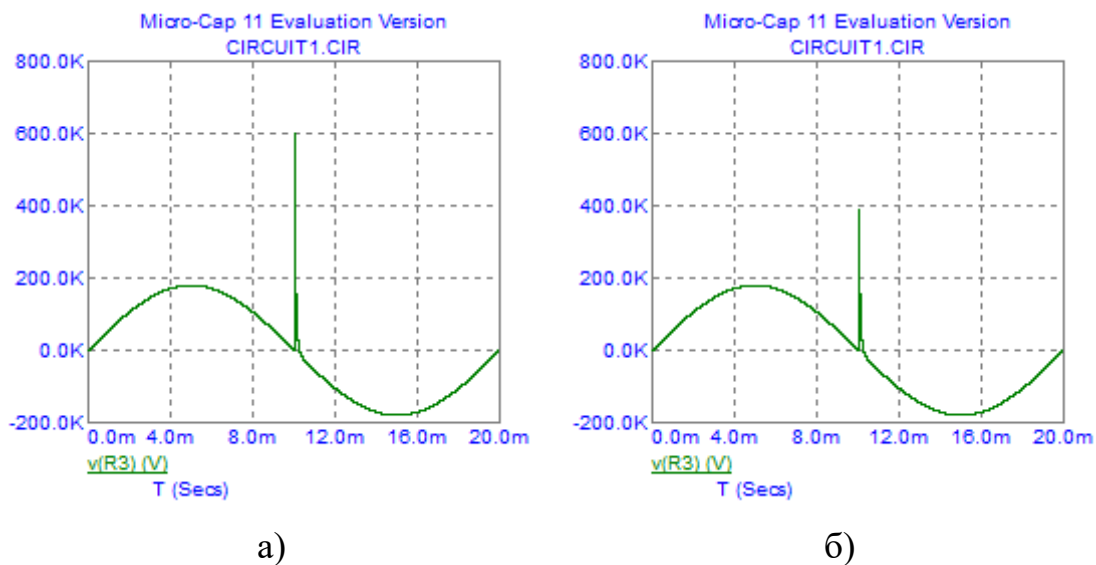


Рисунок 3 – Падіння напруги на R_3 при $\Delta T = 10$ мс:
а) за відсутності ОПН; б) за наявності ОПН.

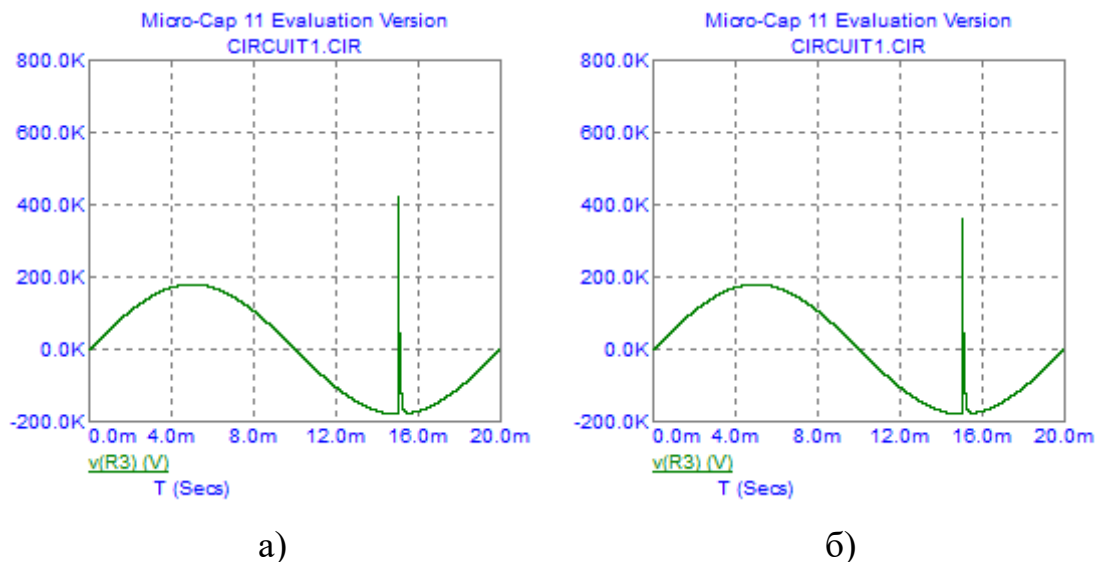


Рисунок 4 – Падіння напруги на R_3 при $\Delta T = 15$ мс:
а) за відсутності ОПН; б) за наявності ОПН.

Висновки: В роботі шляхом моделювання досліджено захисні властивості ОПН в залежності від значення робочої напруги мережі в момент ураження лінії блискавкою. Моделювання проведено за допомогою демонстраційної версії Micro-Cap Evaluation/Student Version [2]. Наведено графіки перехідного процесу як без урахування, так і з урахуванням ОПН. В масштабі одного періоду робочої напруги мережі частотою 50 Гц імпульси перенапруги тривалістю декілька десятків мікросекунд виглядають на графіках (рис. 2-4) як різкі короткотривалі сплески напруги. Заломлена хвиля досягає найбільшого значення, якщо імпульс перенапруги позитивної полярності виникає в момент, коли фазна напруга досягає максимального позитивного значення (рис. 2). Результати, отримані у даній роботі, можуть бути використані в подальшому як у науково-дослідній роботі кафедри теоретичної електротехніки, так і для удосконалення комп'ютерного практикуму з дисципліни "Перенапруги та їх обмеження в електричних мережах".

Перелік посилань

1. Pinceti P., Giannettoni M. A simplified model for zinc oxide surge arresters // IEEE Transactions on power delivery. – 1999. – Vol. 14, No. 2 – pp. 393-398.
2. <http://www.spectrum-soft.com/download.shtm>.
3. Троценко Є. О., Бржезицький В. О., Маслюченко І. М. Моделювання нелінійного обмежувача перенапруг в Micro-Cap // Технологічний аудит та резерви виробництва. – 2016. – № 6/1 (32). – С. 26-30.
4. Brittain J. E. Thevenin's theorem // IEEE Spectrum, vol. 27, no. 3, pp. 42, 1990.
5. Trotsenko Ye., Brzhezitsky V., Masluchenko I. Study of surge arrester model under influence of various current pulses // Technology audit and production reserves. – 2017. – No. 1/1 (33). – pp. 44-48.