

ОЦІНКА ФОРМИ СТРУМІВ, ЩО ПРОТІКАЮТЬ КРИЗЬ НЕЛІНІЙНИЙ ОБМЕЖУВАЧ ПЕРЕНАПРУГ ПРИ ГРОЗОВИХ ПЕРЕНАПРУГАХ

Бржезицький В.О., д.т.н., проф., Троценко Є.О., к.т.н., доц., Яременко Д.С., студент

КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра техніки і електрофізики високих напруг

Вступ. Для випробувань зовнішньої ізоляції електрообладнання високої напруги використовуються повні грозові імпульси напруги формою 1,2/50 мкс. Форма реальних імпульсів напруги, що виникають на проводах ліній електропередач при ураженні блискавкою також може бути близькою до цієї. Разом з тим, виробники нелінійних обмежувачів перенапруг (ОПН) надають в каталогах своєї продукції значення залишкової напруги ОПН при струмах формою 8/20 мкс. Зв'язок імпульсів напруги з імпульсами струму такої різної форми потребує пояснення. Відповідь на це питання може дати моделювання ОПН в режимі обмеження грозових перенапруг.

Мета роботи. Провести оцінку форми струмів, що можуть протікати крізь ОПН в режимі обмеження грозових перенапруг за допомогою моделювання в демонстраційній версії Micro-Cap Evaluation/Student Version [1].

Матеріали і результати досліджень. Схема для визначення залишкової напруги та розрядного струму при набіганні імпульсної хвилі на ОПН зображена на рис. 1. Схема на рис. 1 складена згідно з теоремою про еквівалентний генератор (теоремою Тевенена) [2]. В схемі використано спрощену динамічну (частотно-залежну) модель ОПН [3]. Номінальна напруга ОПН дорівнює $V_n = 108$ кВ (діюче значення).

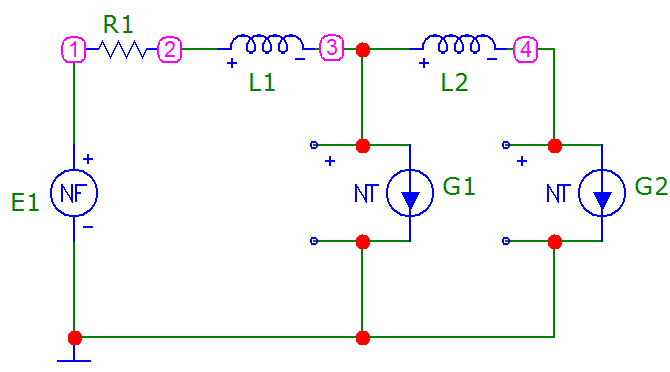


Рисунок 1 – Моделювання набігання імпульсної хвилі на нелінійний обмежувач перенапруг в демонстраційній версії Micro-Cap 11 з використанням функціональних джерел струму, що керуються напругою (G_1 та G_2)

На рис. 1 ОПН представлений елементами L_1 , L_2 , G_1 та G_2 , значення яких розраховані згідно з [3, 4]. Для моделювання нелінійних елементів використано функціональні джерела струму, що керуються напругою (NTIofV) згідно з [5-8]. Згідно з [3] для даного ОПН $L_1 = 1,08$ мкГн, $L_2 = 3,24$ мкГн.

Прийнято, що на ОПН набігає імпульс напруги амплітудою 500,0 кВ та формою 1,2/50 мкс. Хвилевий опір лінії дорівнює 450 Ом (відповідає мережі напругою 110 кВ). Відповідно до цього джерело E_1 представляє собою джерело напруги еквівалентного генератора, що описується виразом (1).

$$E_1 = \frac{2 \cdot 450}{450 + 450} \cdot 1,044 \cdot 500 \cdot 10^3 \cdot \left(e^{-1.400 \cdot 10^4 \cdot t} - e^{-1.917 \cdot 10^6 \cdot t} \right). \quad (1)$$

Резистор R_1 представляє собою внутрішній опір еквівалентного генератора, що визначається виразом (2).

$$R_1 = \frac{450 \cdot 450}{450 + 450} = 225 \text{ Ом}. \quad (2)$$

Результати дослідження представлені на рис. 2.

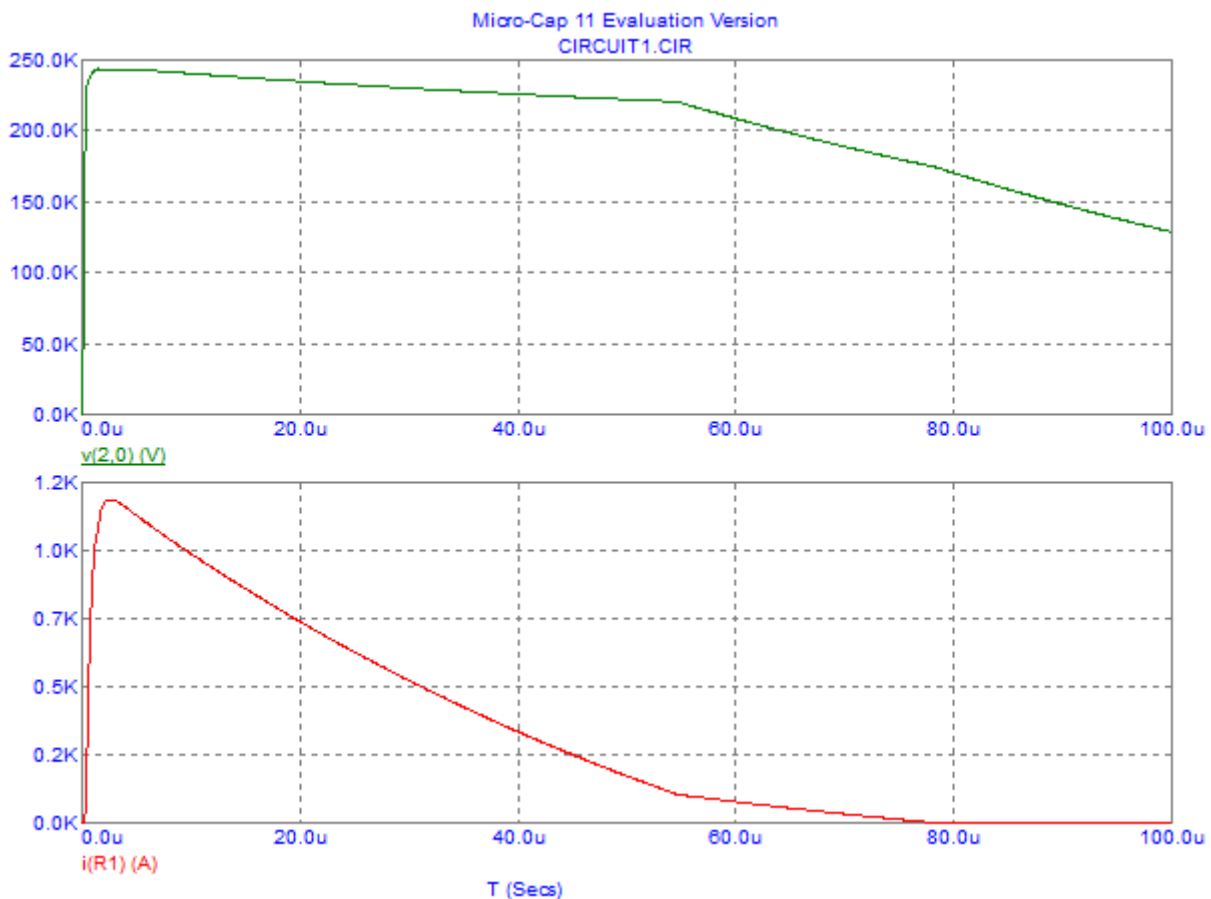


Рисунок 2 – Залишкова напруга (вверху) на ОПН та струм (внизу) через ОПН

Пікове значення залишкової напруги ОПН на рис. 2 становить 243,6 кВ. Пікове значення розрядного струму, що протікає крізь ОПН становить 1,1 кА.

Аналіз схеми на рис. 1 та кривих на рис. 2 дозволяє сформулювати наступні висновки щодо роботи ОПН в режимі обмеження грозових перенапруг.

Висновки. Тривалість імпульсу струму (рис. 2), що протікає крізь ОПН суттєво менша ніж тривалість імпульсу перенапруги (29 мкс проти 50 мкс). Зменшення тривалості імпульсного струму, що протікає крізь ОПН у порівнянні з тривалістю імпульсу напруги можна пояснити нелінійністю вольт-амперної характеристики ОПН.

На збільшення тривалості фронту імпульсу струму, що протікає крізь ОПН, у порівнянні з імпульсом перенапруги, можуть вплинути індуктивності з'єднувальних провідників, за допомогою яких ОПН з'єднується з фазним проводом та контуром заземлення (також певний вплив може здійснювати індуктивність опори лінії електропередачі та контуру заземлення).

Викладене пояснює чому захисні характеристики ОПН наводяться для грозових імпульсів струму формою 8/20 мкс.

Отримані результати можуть бути використані в подальшому як в науково-дослідній роботі кафедри техніки і електрофізики високих напруг, так і для удосконалення комп'ютерного практикуму з дисциплін, які охоплюють питання моделювання, вибору та експлуатації нелінійних обмежувачів перенапруг.

Перелік посилань

1. <http://www.spectrum-soft.com/download.shtm>.
2. Brittain J. E. Thevenin's theorem // IEEE Spectrum. – 1990. – Vol. 27, No. 3. – P. 42.
3. Magro M. C., Giannettoni M., Pinceti P. Validation of ZnO surge arresters model for overvoltage studies // IEEE Transactions on Power Delivery. – 2004. – Vol. 19, № 4. – P. 1692-1695.
4. 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.
5. 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.
6. Коваль А. А., Проценко О. Р., Троценко Є. О. Моделювання нелінійного обмежувача перенапруг // Міжнародний науково-технічний журнал молодих учених, аспірантів і студентів "Сучасні проблеми електроенерготехніки та автоматики". – 2016. – С. 354-356.
7. 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.
8. Trotsenko Ye., Brzhezitsky V., Masluchenko I. Effect of piecewise linear current waveforms on surge arrester residual voltage // Technology audit and production reserves. – 2017. – No. 2/1 (34). – pp. 25-31.