

ДОСЛІДЖЕННЯ СПРОЩЕНОЇ МОДЕЛІ НЕЛІНІЙНОГО ОБМЕЖУВАЧА ПЕРЕНАПРУГ

Бржезицький В.О., д.т.н., проф., Троценко Є.О., к.т.н., доц., Філіпп Г.Д., студент

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

Вступ. Нелінійні обмежувачі перенапруг (ОПН) широко застосовуються для захисту ізоляції обладнання підстанцій від хвиль перенапруг, що набігають з ліній. Для дослідження перехідних процесів на персональному комп'ютері використовуються різні динамічні (частотно-залежні) моделі ОПН. Для розрахунку параметрів моделей ОПН використовуються захисні характеристики, які виробники ОПН наводять в каталогах своєї продукції [1]. Але не завжди наведеної інформації достатньо для розрахунків. Наприклад, не в усіх каталогах наводиться значення залишкової напруги ОПН при крутому імпульсі струму (імпульс струму з умовною тривалістю фронту 1 мкс). У такому випадку неможливо розрахувати параметри моделі ОПН, за методикою, наведеною в [1]. Саме для таких випадків в [2] була запропонована спрощена модель ОПН.

Мета роботи. Провести дослідження спрощеної моделі ОПН, запропонованої в [2] шляхом моделювання в демонстраційній версії Micro-Cap Evaluation/Student Version [3].

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

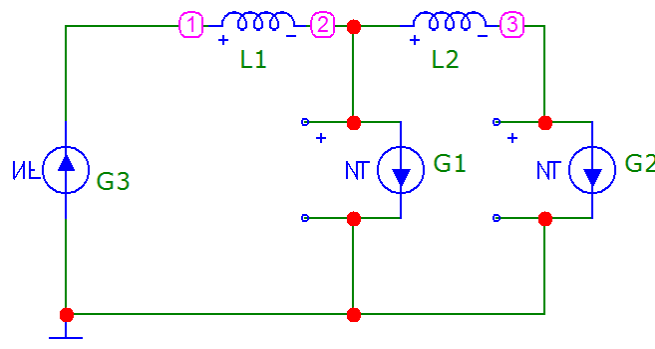


Рисунок 1 – Моделювання нелінійного обмежувача перенапруг в демонстраційній версії Micro-Cap 11 з використанням функціональних джерел струму, що керуються напругою (G_1 та G_2)

На рис. 1 L_1 та L_2 – лінійні елементи моделі ОПН, G_1 та G_2 – нелінійні елементи моделі ОПН, G_3 – джерело розрядного струму заданої амплітуди та форми. Нелінійні елементи моделі ОПН реалізовані за допомогою функціональних джерел струму, що керуються напругою (NTIoFV) згідно з [4]. Значення індуктивностей L_1 та L_2 згідно з [2] розраховуються за формулами (1) і (2).

$$L_1 = 0,01 \cdot V_n, \quad (1)$$

$$L_2 = 0,03 \cdot V_n, \quad (2)$$

де V_n – номінальна напруга ОПН, кВ. Формули (1) та (2) дають значення індуктивностей в мкГн [2].

Вольт-амперна характеристика (ВАХ) нелінійних елементів моделі ОПН була задана згідно з методикою [1]. Моделювання ВАХ нелінійних елементів моделі ОПН згідно із синтаксисом Micro-Cap Evaluation/Student Version [3] висвітлено в публікаціях [4-6] і тому в даній роботі повторно не наводиться.

Дослідження полягає у визначенні на моделі ОПН залишкової напруги при протіканні крізь ОПН розрядних струмів різної форми та амплітуди. Отримані результати в подальшому порівнюються з даними, наведеними в каталозі виробника ОПН.

Згідно з [7] для опису комутаційних імпульсів струму формою 30/60 мкс рекомендується використовувати вираз (3), а для опису грозових імпульсів струму формою 8/20 мкс – вираз (4).

$$i_{30/60}(t) = \begin{cases} I_p \cdot \sin(\omega t), & 0 \leq t \leq \frac{\pi}{2\omega} \\ I_p \cdot \frac{\sin\left(\frac{4}{3}\omega t - \frac{\pi}{6}\right) + 1}{2}, & \frac{\pi}{2\omega} \leq t \leq \frac{10\pi}{8\omega}, \\ 0, & \frac{10\pi}{8\omega} \leq t < \infty \end{cases}, \quad (3)$$

де I_p – пікове значення струму, А; $\omega = 42483,420577$ рад/с.

$$i_{8/20}(t) = \begin{cases} I_p \cdot \sin(\omega t), & 0 \leq t \leq \frac{\pi}{2\omega} \\ I_p \cdot \frac{\sin(\omega t) + 1}{2}, & \frac{\pi}{2\omega} \leq t \leq \frac{3\pi}{2\omega}, \\ 0, & \frac{3\pi}{2\omega} \leq t < \infty \end{cases}, \quad (4)$$

де I_p – пікове значення струму, А; $\omega = 159312,827162$ рад/с.

Для дослідження було обрано ОПН з номінальною напругою $V_n = 108$ кВ (діюче значення). Для такого ОПН згідно з формулами (1) і (2) отримуємо, що $L_1 = 1,08$ мкГн, $L_2 = 3,24$ мкГн.

Значення залишкової напруги, отримані на моделі ОПН при протіканні крізь ОПН розрядних імпульсів струмів формою 30/60 мкс та 8/20 мкс різної амплітуди наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Результати моделювання нелінійного обмежувача перенапруг

№	Струм, кА (пікове значення)	Форма, мкс	Залишкова напруга ОПН, кВ (пікове значення)		Похибка моделювання, %
			Каталог	Моделювання	
1	0,5	30/60	223,0	230,2	+3,229
2	1,0	30/60	231,0	241,7	+4,632
3	2,0	30/60	242,0	249,9	+3,264
4	5,0	8/20	264,0	265,2	+0,455
5	10,0	8/20	280,0	281,6	+0,571
6	20,0	8/20	314,0	302,8	-3,567
7	40,0	8/20	359,0	357,8	-0,334

Приклади кривих розрядного струму та залишкової напруги на ОПН, отримані при моделюванні, показано на рис. 2.

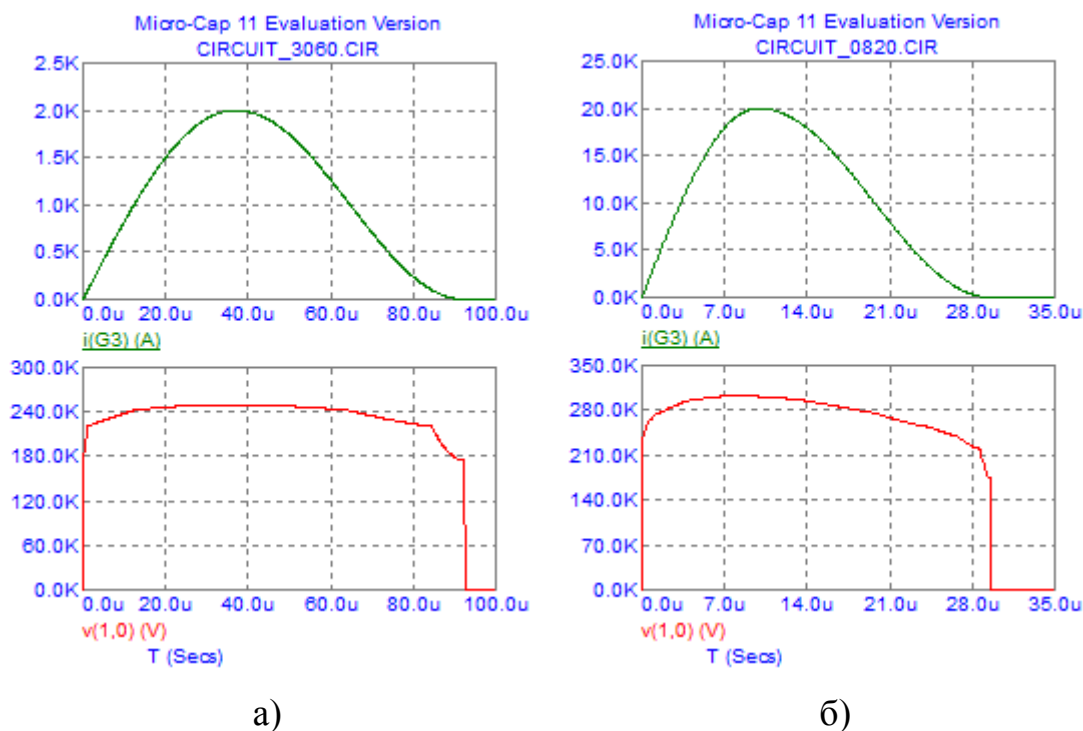


Рисунок 2 – Залишкова напруга (внизу) при протіканні крізь нелінійний обмежувач перенапруг різних імпульсів струму (вверху):
 а) комутаційного імпульсу струму амплітудою 2,0 кА та формою 30/60 мкс;
 б) грозового імпульсу струму амплітудою 20,0 кА та формою 8/20 мкс.

У табл. 1 наведена похибка, яка обчислювалась за формулою:

$$\xi = \frac{V_r' - V_r}{V_r} \cdot 100, \% \quad (5)$$

У формулі (5) V_r' – значення залишкової напруги при протіканні крізь ОПН розрядного імпульсу струму заданої амплітуди та форми, отримане при моделюванні; V_r – відповідне значення залишкової напруги з каталогу виробника даного ОПН.

Висновки. У роботі наведені результати дослідження спрощеної динамічної моделі ОПН. Дослідження полягало у порівнянні значень залишкової напруги ОПН, отриманих при моделюванні із відповідними значеннями, вказаними в каталозі ОПН. При моделюванні було використано демонстраційну (студентську) версію Micro-Cap Evaluation/Student Version [3].

Результати дослідження показують, що найбільша похибка моделювання має місце при протіканні крізь ОПН комутаційних імпульсів струму. У той же час, в усьому діапазоні, як комутаційних, так і грозових імпульсів струму, відносна похибка моделювання не перевищує 5% (табл. 1). Це свідчить про те, що спрощена модель ОПН, запропонована в [2], цілком достатня для інженерних розрахунків як комутаційних, так і грозових перенапруг.

Результати, отримані в даній роботі, 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 "Перенапруги та їх обмеження в електричних мережах" та "Перенапруги та їх обмеження в дальніх електропередачах".

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. 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.
3. <http://www.spectrum-soft.com/download.shtm>.
4. 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.
5. Коваль А. А., Проценко О. Р., Троценко Є. О. Моделювання нелінійного обмежувача перенапруг // Міжнародний науково-технічний журнал молодих учених, аспірантів і студентів "Сучасні проблеми електроенергетехніки та автоматики". – 2016. – С. 354-356.
6. 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.
7. Trotsenko Ye., Brzhezitsky V., Masluchenko I. Analytical representation of switching current impulses for study of metal-oxide surge arrester models // Technology audit and production reserves. – 2017. – No. 5/1 (37). – pp. 24-29.