

МОДЕЛЮВАННЯ НЕЛІНІЙНОГО ОБМЕЖУВАЧА ПЕРЕНАПРУГ

Коваль А.А., студент, Проценко О.Р., к.т.н., доц., Троценко Є.О., к.т.н., доц.
КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра техніки і електрофізики високих напруг

Вступ. Важливість та корисність програм схемотехнічного моделювання для техніки високих напруг підкреслена вже давно [1]. Наприклад, провести розрахунок перехідного процесу на ізоляції електрообладнання підстанції при грозових перенапругах без таких програм дуже важко. Основним апаратом для захисту електрообладнання підстанції від хвиль перенапруг, що набігають з лінії, є нелінійний обмежувач перенапруг (ОПН). На даний час запропоновано декілька схем заміщення ОПН [2, 3], проведено їх аналіз та порівняння. В той же час питанню власне практичної реалізації цих схем в програмах схемотехнічного моделювання приділено значно менше уваги.

Мета роботи. На основі виконаного аналізу схем заміщення ОПН провести моделювання їх роботи при протіканні струму блискавки за допомогою програми схемотехнічного моделювання Micro-Cap [4], порівняти отримані результати з параметрами існуючих моделей ОПН та визначити похибку запропонованої методики моделювання у використаній моделі.

Матеріали і результати досліджень. В останні роки найбільшого поширення отримали схеми заміщення ОПН, зображені на рис. 1.

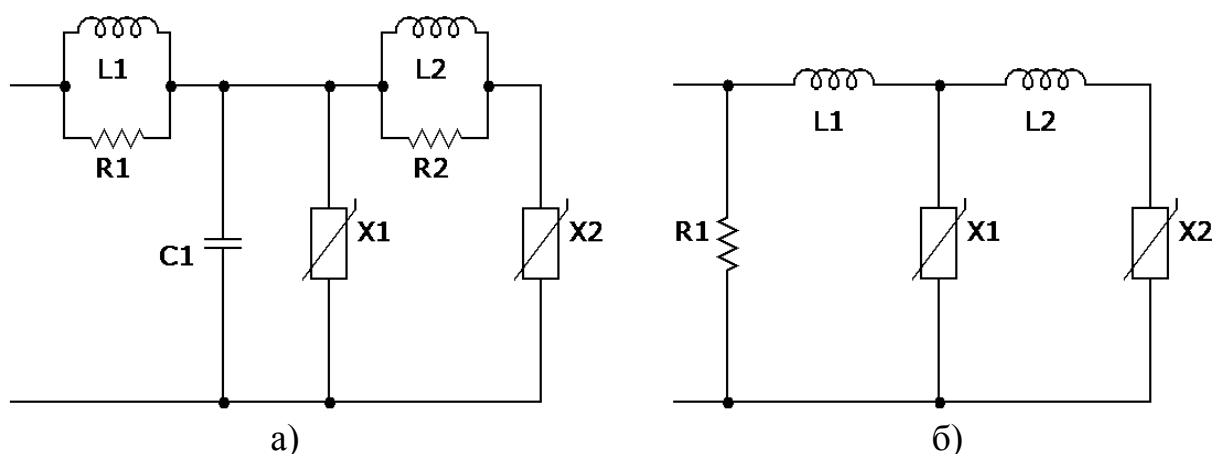


Рисунок 1 – Схеми заміщення ОПН:

а) рекомендована в [2]; б) спрощена, рекомендована в [3]

На рис. 1 R_1 , R_2 , L_1 , L_2 , C_1 – лінійні параметри; X_1 , X_2 – нелінійні параметри. Схема, зображена на рис. 1,а потребує ітераційної процедури для розрахунку своїх параметрів [2]. Згідно з [3] ця схема може бути спрощена і приведена до вигляду, показаного на рис. 1,б. При цьому параметри схеми на рис. 1,б визначаються тільки на основі даних, наведених в каталогах фірм-виробників ОПН і не потребують ітераційного уточнення [3]. Тому для дослідження в роботі було обрано схему, зображену на рис. 1,б.

Моделювання проводилося з використанням демонстраційної версії Micro-Cap Evaluation/Student Version [4].

Дослідження полягало у визначенні на моделі залишкової напруги на ОПН при протіканні крізь нього грозового імпульсу струму 8/20 мкс амплітудою 10 кА та порівнянні отриманого значення із вказаним у каталозі ОПН. Основна схема дослідження показана на рис. 2.

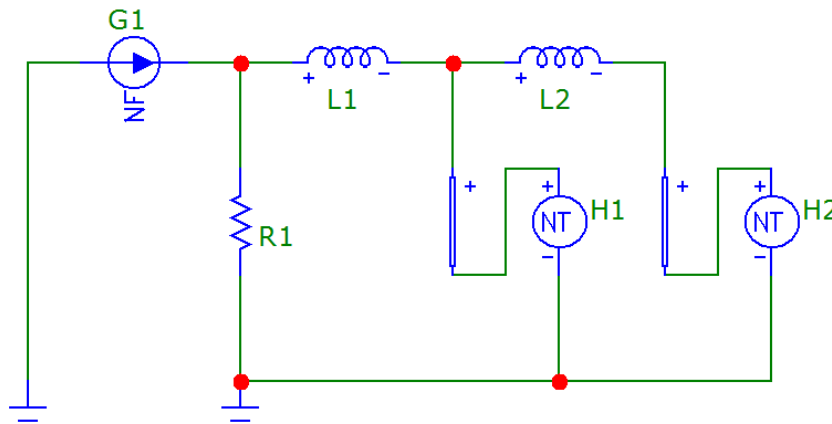


Рисунок 2 – Моделювання ОПН в Micro-Cap

Нелінійні резистори X_1 та X_2 в схемі на рис. 1,б в моделі ОПН на рис. 2 реалізовані за допомогою джерел напруги, що керуються струмом, відповідно, H_1 та H_2 . Значення нелінійних параметрів схеми заміщення ОПН у відносних одиницях по відношенню до залишкової напруги (V_r) на апараті при хвилі 8/20 мкс з амплітудою 10 кА згідно з [3] та у відповідності із синтаксисом Micro-Cap наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Значення нелінійних параметрів схеми заміщення ОПН

H_1	H_2
(0,0)	(0,0)
(2e-3, {0.810*Vr})	(2e-3, {0.623*Vr})
(1e2, {0.974*Vr})	(1e2, {0.788*Vr})
(1e3, {1.052*Vr})	(1e3, {0.866*Vr})
(3e3, {1.108*Vr})	(3e3, {0.922*Vr})
(10e3, {1.195*Vr})	(10e3, {1.009*Vr})
(20e3, {1.277*Vr})	(20e3, {1.091*Vr})

Джерело струму G_1 на рис. 2 було задане як функціональне джерело струму, що описується виразом " $4*10000*(\exp(-0.866e5*t)-\exp(-1.732e5*t))$ " і відповідає імпульсу амплітудою 10 кА формою 8/20 мкс. Опір R_1 згідно з [3] прийнято рівним 1 МОм. Індуктивності L_1 та L_2 було розраховано за формулами [3]:

$$L_1 = \frac{1}{12} \cdot \frac{V_{r1/20} - V_{r8/20}}{V_{r8/20}} \cdot V_n, \quad (1)$$

$$L_2 = \frac{1}{4} \cdot \frac{V_{r1/20} - V_{r8/20}}{V_{r8/20}} \cdot V_n, \quad (2)$$

де V_n – номінальна напруга апарата, кВ; $V_{r1/20}$ – залишкова напруга (кВ) при струмі амплітудою 10 кА та хвилі 1/20 мкс; $V_{r8/20}$ – залишкова напруга (кВ) при струмі амплітудою 10 кА та хвилі 8/20 мкс. Формули (1) та (2) дають значення в мкГн [3].

Результати проведеного дослідження наведено в табл. 2. Дані по ОПН взято з сайту [5].

Таблиця 2 – Результати моделювання ОПН

ОПН	V_n , кВ	V_r (кВ) при струмі:		
		10 кА, 1/20 мкс (каталог ОПН)	10 кА, 8/20 мкс (каталог ОПН)	10 кА, 8/20 мкс (моделювання)
Тип 1	108	315	285	286,3
Тип 2	120	343	310	311,5
Тип 3	132	354	325	326,5
Тип 4	192	520	477	479,1
Тип 5	216	576	528	530,4

Висновок: В роботі визначено залишкову напругу на моделі ОПН при протіканні крізь ОПН стандартного струму блискавки амплітудою 10 кА та формою 8/20 мкс. Моделювання проведено за допомогою демонстраційної версії Micro-Cap Evaluation/Student Version. Нелінійні елементи в моделі ОПН реалізовані за допомогою джерел напруги, що керуються струмом. Результати моделювання показують, що різниця між значеннями залишкової напруги, наведеної в каталогах ОПН та значеннями, отриманими при моделюванні не перевищує 0,5% (згідно з табл. 2). Результати, отримані в даній роботі, можуть бути використані в подальшому при розрахунку захисту електрообладнання підстанцій від імпульсів, що набігають з ліній електропередачі.

Перелік посилань

1. Suthar J.L., Laghari J.R., Saluzzo T.J. Usefulness of SPICE in high voltage engineering education // IEEE Transactions on power systems. – 1991. – Vol. 6, No. 3. – pp. 1272-1278.
2. IEEE Working Group 3.4.11. Modeling of metal oxide surge arresters // IEEE Transactions on power delivery. – 1992. – Vol. 7, No. 1. – pp. 302-309.
3. 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.
4. <http://www.spectrum-soft.com/download.shtm>.
5. <http://www.te.com/energy>.