

УСТАНОВКА НЕЛІНІЙНИХ ОБМЕЖУВАЧІВ ПЕРЕНАПРУГ НА ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЯХ 35 КВ

¹Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

Проведено аналіз індукваних перенапруг на повітряних лініях 35 кВ, що виникають внаслідок грозових розрядів, та запропоновано місця встановлення засобів захисту — нелінійних обмежувачів перенапруг.

Ключові слова: індуквані перенапруги, модель, повітряна лінія.

Вступ

На сьогодні актуальною для експлуатаційного персоналу електричних мереж є проблема перенапруг, що виникають на обладнанні. Розрізняють внутрішні та зовнішні перенапруги. Внутрішні перенапруги можуть виникати внаслідок комутацій силового обладнання ненавантажених електропередач на ін. Зовнішні перенапруги — це прямі чи непрямі удари блискавки.

Якщо обладнання підстанцій захищено від прямих ударів блискавки системою блискавковідводів та ОПН чи розрядниками, то лінії електропередач мають грозозахисний трос по всій довжині лише для ліній 110 кВ і вище. В мережах 35 кВ грозозахисний трос застосовується на лініях з металевими опорами, що живлять відповідальних споживачів. Основним захистом від грозових перенапруг для мереж 10(6), 35 кВ можна, з деяким наближенням, вважати АПВ. Але АПВ лише повторно вмикає відключену ЛЕП внаслідок дії РЗА. В цьому випадку фронт грозової перенапруги спричиняє перекриття ізоляції на лінії і може досягати підстанції.

Одним з шляхів усунення перенапруг в ЛЕП є встановлення ОПН на кожній з опор. Але такі заходи збільшують вартість будівництва нових ЛЕП та реконструкцію існуючих в кілька разів.

Результати дослідження

В роботі проведено аналіз індукваних перенапруг в ЛЕП, що виникають внаслідок грозових розрядів, та запропоновано місця встановлення засобів захисту.

Для дослідження індукваних перенапруг в ПЛІ 35 кВ обрана лінія довжиною 800 м. Розрахункова модель цієї виконана засобами пакету програм Matlab/Simulink. Живлення лінії виконано від силового трансформатора ПС 110/35 кВ з навантаженням на стороні 10 кВ.

Simulink-модель для аналізу індукваних перенапруг показана на рис. 1.

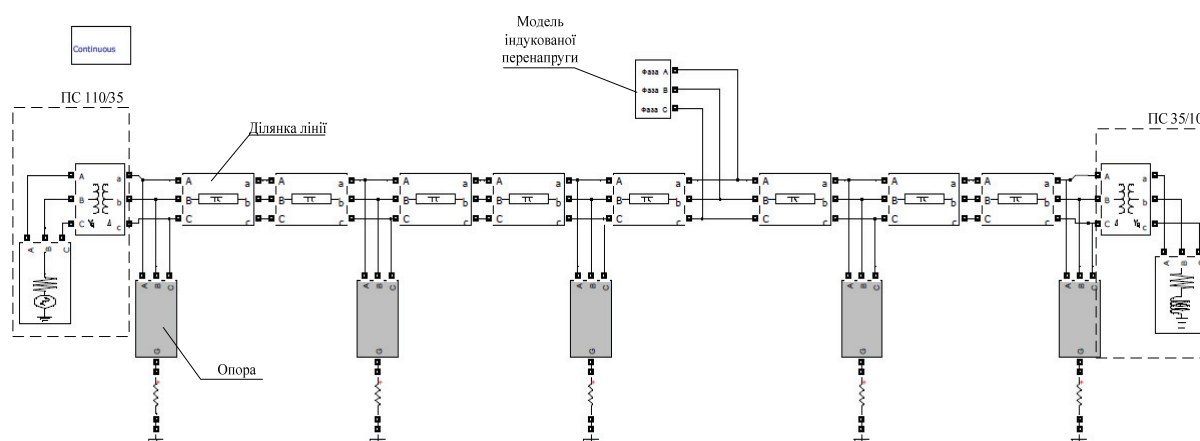


Рис. 1. Simulink-модель ПЛІ 35 кВ для аналізу індукваних перенапруг

На основі реєстрації форми хвилі струму блискавки в реальних умовах, дослідниками запропоновані різні їх апроксимації [1—3]. До останнього часу найпоширенішою є біекспоненціальна

апроксимація Брюса–Голда [4]

$$i_0(t) = \frac{I_M}{\eta} \left[e^{-\frac{t}{\tau_1}} - e^{-\frac{t}{\tau_2}} \right].$$

Згідно з матеріалами статті [5] оцінити величину індукованої перенапруги можна таким виразом

$$U_0 = \frac{1}{2} k I_M \ln \left[\frac{h + h_a + \sqrt{(h + h_a)^2 + S^2}}{h - h_a + \sqrt{(h - h_a)^2 + S^2}} \right],$$

де $k = 25$ — коефіцієнт пропорційності; I_M — значення струму розряду блискавки, кА; h — висота між нижньою точкою розряду блискавки та землею, м; h_a — середня висота підвішування проводу, м; S — відстань між точкою проєкції розряду на землю та трасою лінії; τ_1 та τ_2 — постійні часу, обумовлені часом наростання та спадання хвилі струму блискавки

Використовуючи попередні вирази, формуємо формулу залежності амплітуди індукованої в лінії перенапруги від часу:

$$u_0(t) = \frac{U_0}{\eta} \left[e^{-\frac{t}{\tau_1}} - e^{-\frac{t}{\tau_2}} \right],$$

де U_0 — амплітудне значення індукованої перенапруги в лінії; η — коригувальний коефіцієнт амплітуди хвилі.

Коригувальний коефіцієнт η визначається так:

$$\eta = e^{-\frac{\tau_\phi}{\tau_1}}.$$

Постійні часу τ_1 та τ_2 , обумовлені часом наростання та спадання хвилі струму блискавки і розраховуються на підставі таких виразів:

$$\tau_1 = \frac{\tau_\phi - \tau_{хв}}{\ln(0,5)};$$

$$\tau_2 = \frac{\tau_\phi}{5},$$

де τ_ϕ — час фронту хвилі; $\tau_{хв}$ — час імпульсу хвилі.

Результати розрахунку коефіцієнтів під час біекспоненціальної апроксимації форми імпульсу струму різної тривалості наведено в табл.

Значення коефіцієнтів в біекспоненціальній моделі струму блискавки

Параметри імпульсу струму	τ_1 , мкс	τ_2 , мкс	η
1,2/50 мкс	70,4	0,24	0,983
8/40 мкс	46,2	1,6	0,841
10/350 мкс	490,5	2	0,98

Беремо значення струму блискавки рівним $I_M = 30$ кА, що найбільш характерно для території України. Відстань від точки удару блискавки до ЛЕП $S = 50$ м. Параметри імпульсу струму блискавки — 8/40 мкс.

Для аналізу впливу місця установки ОПН виконано моделювання таких варіантів:

1. ОПН на ЛЕП відсутні (рис. 2);
2. ОПН встановлено на останній опорі перед навантаженням (рис. 3);
3. ОПН на початку та в кінці лінії (рис. 4);
4. ОПН встановлено через одну опору (рис. 5);
5. ОПН встановлено на всіх опорах ЛЕП (рис. 6).

На графіках синім, зеленим та червоним кольорами позначено значення амплітуди індукованої напруги для фаз A , B , C , відповідно.

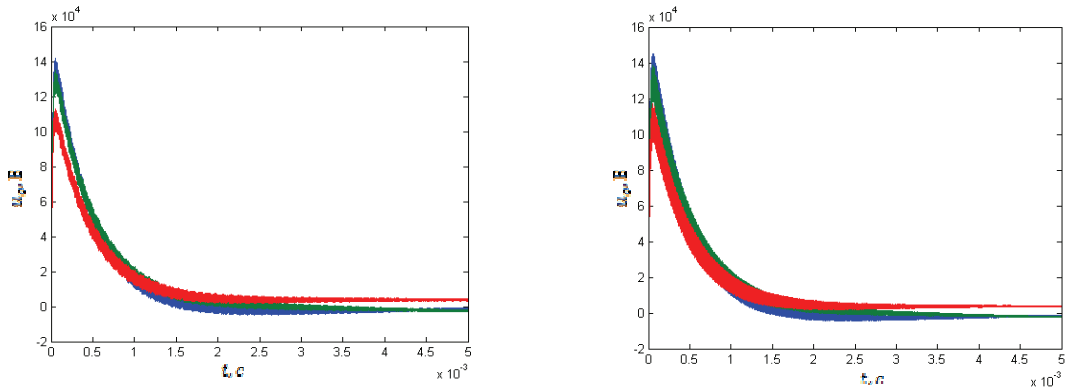


Рис. 2. Графіки амплітуди індукованої напруги на середній (зліва) та останній опорі (справа) для варіанта № 1

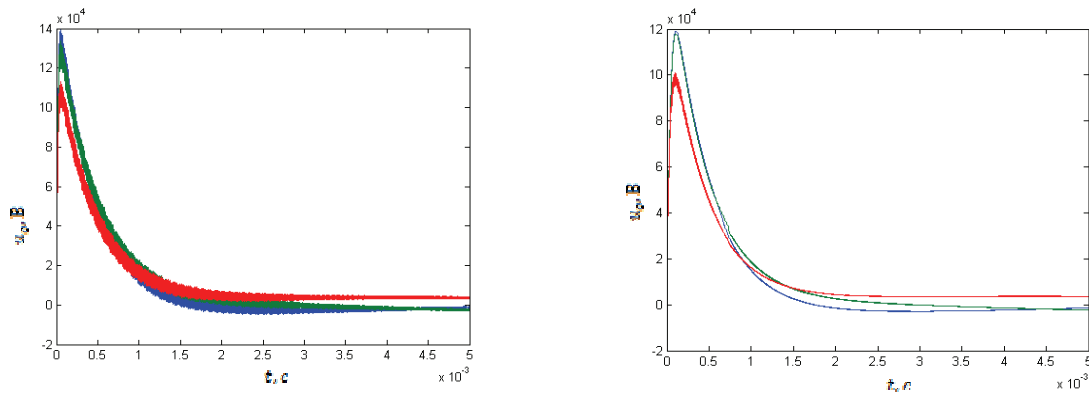


Рис. 3. Графіки амплітуди індукованої напруги на середній (зліва) та останній опорі (справа) для варіанта № 2

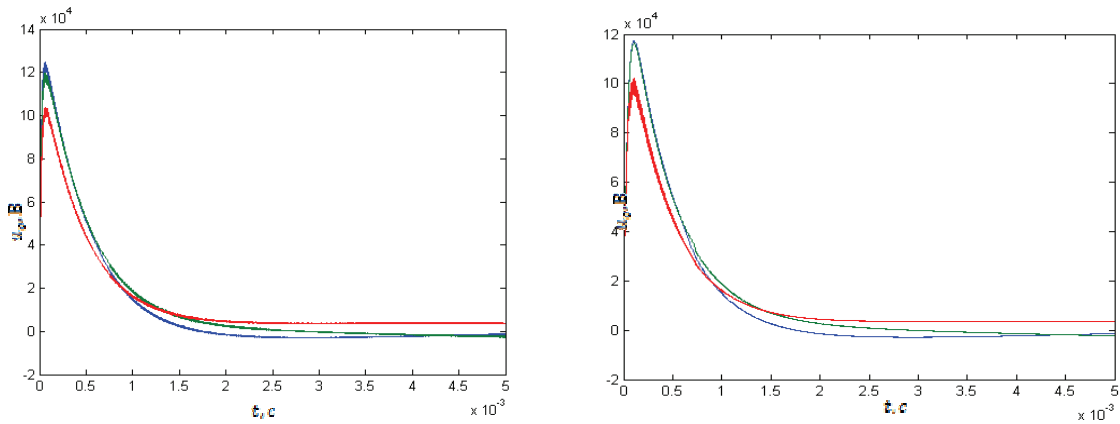


Рис. 4. Графіки амплітуди індукованої напруги на середній (зліва) та останній опорі (справа) для варіанта № 3

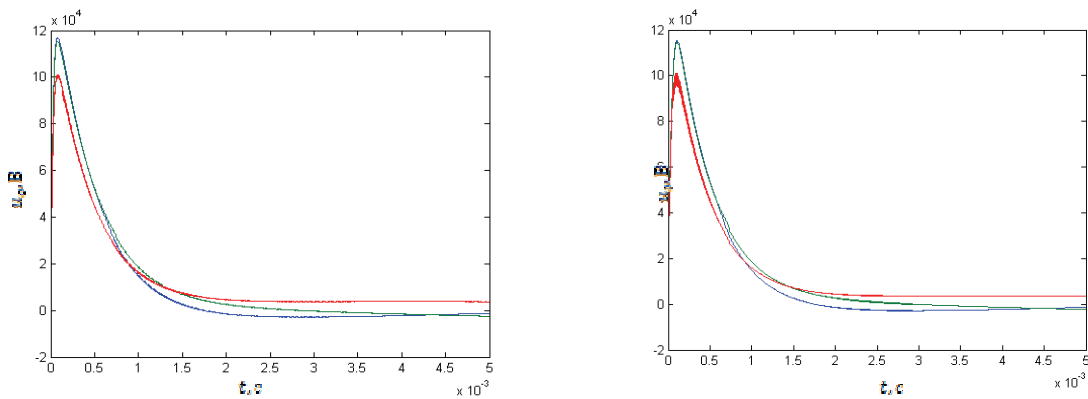


Рис. 5. Графіки амплітуди індукованої напруги на середній (зліва) та останній опорі (справа) для варіанта № 4

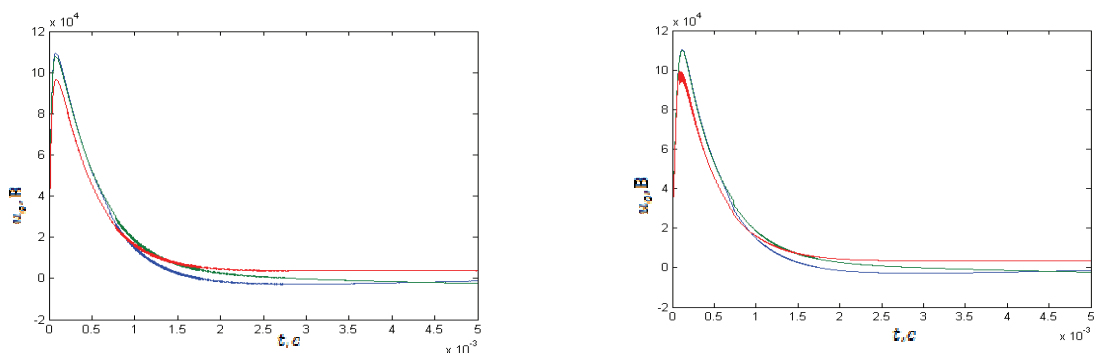


Рис. 6. Графіки амплітуди індукованої напруги на середній (зліва) та останній опорі (справа) для варіанта № 5

Під час послідовного аналізу результатів дослідження виявлено, що найбільше зниження наведеної напруги спостерігається у разі встановлення ОПН на кожній з опор ЛЕП. Очевидно, що найкращим способом захисту лінії є варіант № 5 — ОПН на всіх опорах. Варіант установки лише на крайніх опорах не забезпечує зниження амплітудного значення напруги до допустимого рівня.

Висновки

Встановлення нелінійних обмежувачів перенапруг через одну опору ЛЕП 35 кВ дозволяє ефективно зменшити наведену напругу (варіант № 4). Потрібні подальші дослідження з метою техніко-економічного обґрунтування практичних рекомендацій щодо оптимальних місць установки ОПН на ЛЕП.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Comparison of Lightning with Public Domain HEMP Waveforms on the Surface of an Aircraft / R. L. Gardner, L. Baker, C. E. Baum, D. J. Andersh // 6th EMC Symposium. — Zurich, 1985.
2. Golde R. H. Lightning / R. H. Golde. — London : Academic Press Inc, 1977, vol. I & 2/
3. Jones R. D. On the Use of Tailored Return-Stroke Current Representation to Simplify the Analysis of Lightning Effect on Systems / R. D. Jones // IEEE Trans. On EMC, 1977.
4. Bruce C. E. Journal of IEE / C. E. Bruce, R. H. Golde. — 1941. — V. 88. — P. 487—520.
5. Calculation on Induced Over-voltage on Low-voltage Overhead Lines / Ping Liu, Xiao Yi, Xu Wang, Yongling Lu, Jianhui Yu, Wenjun Zhou // IEEE Power Engin. and Autom. Conf. (PEAM) (8—9 Sept. 2011). — 2011. — Vol. 2. — Pp. 68—72.
6. Техника высоких напряжений : учеб. пос. для вузов / [Александров Г. Н., Иванов В. Л., Кадомская К. П., и др.] ; под ред. Костенко М. В. — М. : Высш. школа, 1973. — 528 с.
7. Перенапряжение в сетях 6–35 кВ / Ф. А. Гиндуллин, В. Г. Гольдштейн, А. А. Дульзон, Ф. Х. Халилов. — М. : Энергоатомиздат, 1989. — 192 с. : ил.

Рекомендована кафедрою електричних станцій і систем ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 29.12.2015

Ворона Сергій Сергійович — аспірант кафедри електричних мереж та систем, e-mail: serg11-91@mail.ru.
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

S. S. Vorona¹

Installation Nonlinear Limiters of Overvoltages on Overhead Lines 35 kV

¹National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»

There has been carried out the analysis of the induced overvoltages on 35 kV overhead lines resulting from the lightning discharges, places of installation facilities such as nonlinear overvoltage limiters have been proposed in the paper.

Keywords: induced overvoltage, model, overhead line.

Vorona Serhii S. — Post-Graduate Student of the Chair of Electrical Networks and Systems, e-mail: serg11-91@mail.ru

С. С. Ворона¹

Установка нелинейных ограничителей перенапряжения на воздушных линиях 35 кВ

¹Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»

Проведен анализ индуцированных перенапряжений на воздушных линиях 35 кВ, возникающих в результате грозовых разрядов, предложены места установки средств защиты — нелинейных ограничителей перенапряжений.

Ключевые слова: индуцированные перенапряжения, модель, воздушная линия.

Ворона Сергей Сергеевич — аспирант кафедры электрических сетей и систем, e-mail: serg11-91@mail.ru