

УДК 621.316.9

ЗАХИСТ ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАВАННЯ НАПРУГОЮ 35 кВ ВІД НАВЕДЕНИХ ГРОЗОВИХ ПЕРЕНАПРУГ

КИРИК В.В. д-р техн. наук, професор, зав. каф. електричних мереж та систем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», Київ, Україна, e-mail: vkyryk@ukr.net;

АБДУЛАЄВ С.А. магістрант кафедри електричних мереж та систем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», Київ, Україна, e-mail: seryk15abdulaev@rambler.ru;

Мета роботи. Розробити рекомендації по визначенню оптимальних місць встановлення нелінійних обмежувачів перенапруги для захисту повітряних ліній електропередавання від впливу грозових перенапруг на основі моделі електричної мережі номінальною напругою 35 кВ та провести дослідження розподілу індукованої перенапруги в часі вздовж траси лінії електропередавання.

Методи дослідження. В основу роботи покладено імітаційне математичне моделювання процесів виникнення грозових перенапруг в повітряній лінії електропередавання номінальною напругою 35 кВ. Обробка результатів дослідження виконувалася з використанням сучасного прикладного програмного забезпечення: MathCAD, середовища SimPowerSystems пакету програм MATLAB.

Отримані результати. В процесі виконання роботи було отримано оптимальні відстані, через які необхідно встановлювати нелінійні обмежувачі перенапруги для забезпечення захисту електричної мережі номінальною напругою 35 кВ від індукованої грозової перенапруги. В результаті порівняння двох варіантів розміщення ОПН на повітряній лінії електропередавання, а саме через кожні 2 км та на двох опорах, розміщених на відстані 2 км від початку та 2 км від кінця лінії, визначено, що оптимальним варіантом є встановлення обмежувачів перенапруги через кожні 2 км вздовж всієї траси повітряної лінії.

Наукова новизна. Авторами проведено імітаційне математичне моделювання різноманітних варіантів розміщення нелінійних обмежувачів перенапруги вздовж траси повітряної лінії електропередавання номінальною напругою 35 кВ. Визначено найбільш оптимальні місця їх встановлення.

Практична цінність. Результати роботи можуть бути використанні при проектуванні нових або реконструкції існуючих повітряних ліній електропередавання 35 кВ, що дозволить забезпечити їх захист від грозових перенапруг та зменшити кількість аварійних відключень.

Ключові слова: нелінійний обмежувач перенапруги; грозові перенапруги; блискавкозахист; наведена напруга; грозовий імпульс струму.

I. ВСТУП

В процесі експлуатації електричних мереж відключення повітряних ліній (ПЛ) може бути викликане різноманітними причинами, однією з яких є перекриття ізоляції внаслідок дії грозових перенапруг. Джерелом грозових перенапруг на ізоляцію повітряних ліній можуть бути як прямі розряди блискавки [1] в ПЛ (в опорі, грозозахисний трос, в фазний провід), так і наведена напруга, яка виникає внаслідок розряду блискавки в об'єкти поблизу лінії електропередавання. Перенапруга прямого розряду є більш небезпечною для ізоляції, ніж індукована перенапруга. Однак імовірність прямого розряду блискавки в ПЛ залежить від багатьох факторів і в деяких випадках може виявитися, що індуковані перенапруги можуть бути причиною перекриття ізоляції при грозових розрядах. Це є характерним для електричних мереж 10-35 кВ, де висота опори невелика і траса лінії екранується рельєфом місцевості, насадженнями та будівлями. Для забезпечення необхідного рівня грозозахисту ПЛ використовують поєднання різноманітних засобів [2],

[3], таких як установка одного або декількох грозозахисних тросів, зменшення опору заземлення опор, посилення ізоляції. В деяких випадках дані засоби не можуть забезпечити необхідний рівень грозозахисту. В такому разі ефективним способом підвищення грозостійкості лінії електропередавання може стати установка на опорах ПЛ нелінійних обмежувачів перенапруги (ОПН).

II. АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Для забезпечення захисту електричних мереж рекомендовано розміщувати ОПН на кожній опорі паралельно ізоляторам [4]. Проте така установка призводить до зростання в декілька разів вартості спорудження нових ліній електропередавання та реконструкції існуючих. Саме тому велика кількість вітчизняних та іноземних науково-технічних публікацій присвяченні визначенню ефективності використання нелінійних обмежувачів перенапруги для захисту повітряних ліній. Однак більшість з них розглядають ділянки повітряних ліній електропередавання незначної протяжності (не більше 2 км), що, в свою чергу, не

дозволяє в повній мірі дослідити захисні властивості ОПН. Так в роботах [5] – [11] приведено аналітичні вирази для розрахунку наведених індукованих грозових перенапруг, які залежать від величини амплітуди струму блискавки, відстані від точки розряду блискавки до ПЛ та висоти даної точки над землею. В роботі [12] проведено дослідження місць розміщення ОПН на повітряній лінії електропередавання напругою 10 кВ загальною протяжністю 1,8 км, що складається з 10 прогонів та 9 опор. В даній роботі було виконано моделювання різноманітних варіантів розміщення ОПН при розряді блискавки в землю та в об'єкт, розміщений на висоті 50, 100 і 200 м від землі. В результаті було виявлено, що зона захисту ОПН складає близько 600 м. По отриманим результатам було сформовано наступні рекомендації по вибору місць встановлення ОПН:

- для ПЛ 6-10 кВ не більше, ніж через 6-12 опор;
- для ПЛ 35 кВ не більше, ніж через 4-5 опор.

Однак, дана модель не дозволяє враховувати залежність індукованої перенапруги від довжини лінії. Тому, актуальним є розробка такої моделі повітряної лінії електропередавання, довжина якої становить 10 км та більше, що дозволить більш достовірно визначити місця, розміщення в яких ОПН забезпечить надійний захист електричної мережі від грозової пе-

ренапруги.

III. МЕТА РОБОТИ

Метою роботи є визначення найбільш оптимальних місць встановлення обмежувачів перенапруги для захисту повітряних ліній електропередавання від впливу грозових перенапруг на основі імітаційної моделі електричної мережі номінальною напругою 35 кВ та дослідження розподілу індукованої перенапруги в часі вздовж траси лінії електропередавання.

IV. ВИКЛАДЕННЯ ОСНОВНОГУ МАТЕРІАЛУ І АНАЛІЗ ОТРИМАННИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

Для дослідження впливу індукованих грозових перенапруг на повітряну лінію електропередавання була розроблена імітаційна математична модель електричної мережі напругою 35 кВ в програмному середовищі MATLAB, яка приведена на рис. 1. Модель включає 10 блоків "Лінія", кожен з яких представляє собою однофазову повітряну лінію довжиною 2 км, виконану на залізобетонних опорах з трикутним розміщенням фаз і зображену на рис. 2, два трансформатори, джерело живлення, навантаження, вимірювальні блоки та джерело індукованої перенапруги.

Всі прогони моделюються як трифазні RLC-ланки, в які заносяться погонні параметри проводів.

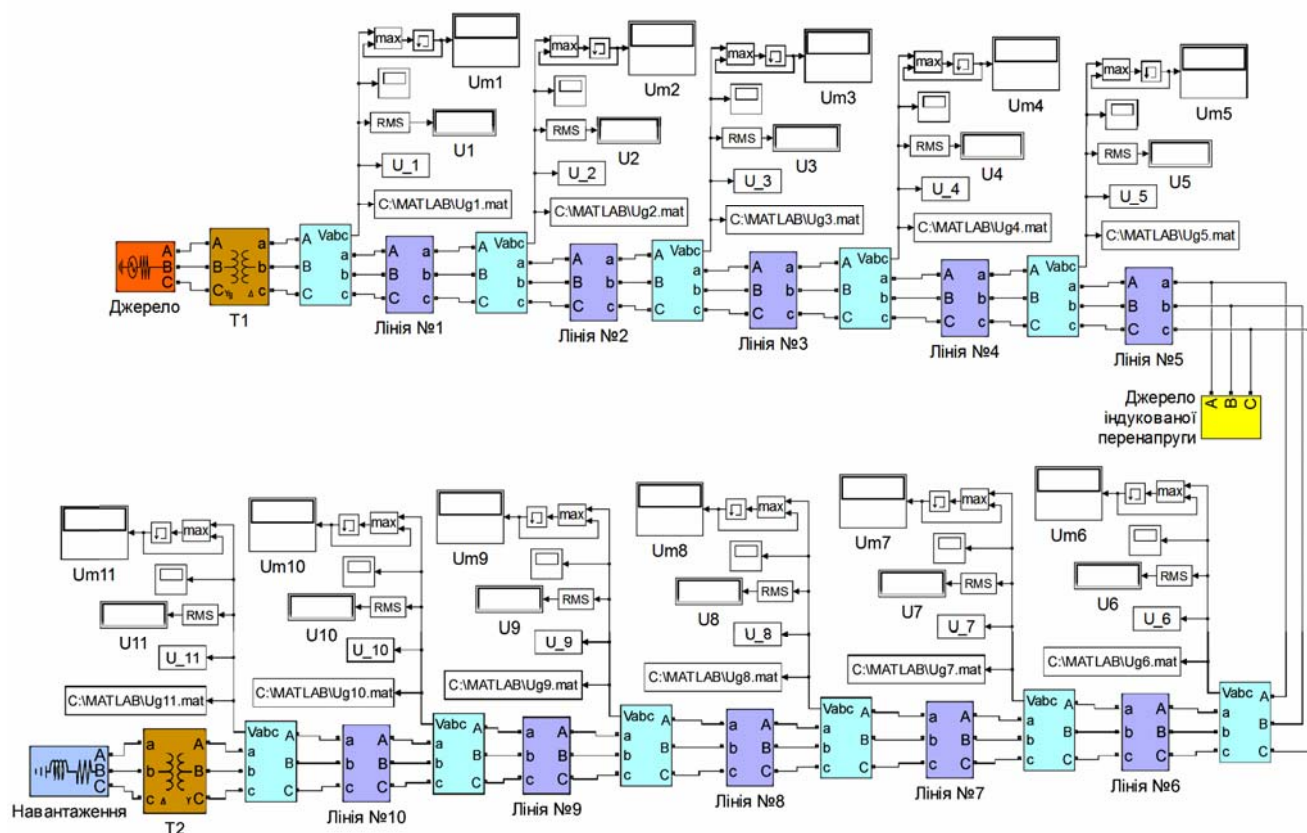


Рисунок 1. Модель електричної мережі номінальною напругою 35 кВ

В місцях з'єднання прогонів повітряної лінії вводяться моделі опор, які представляють собою на-

бір індуктивностей, величина яких визначається з використанням геометрії опори і відомих погонних індуктивностей її елементів, при цьому кожна опора зв'язана із землею через активний опір, що моделює заземлюючий пристрій. На кожній із опор фазні проводи відокремлені від траверс гірляндами лінійних ізоляторів, які представляють собою набір ємностей.

Розглянемо основні підходи до створення базо-

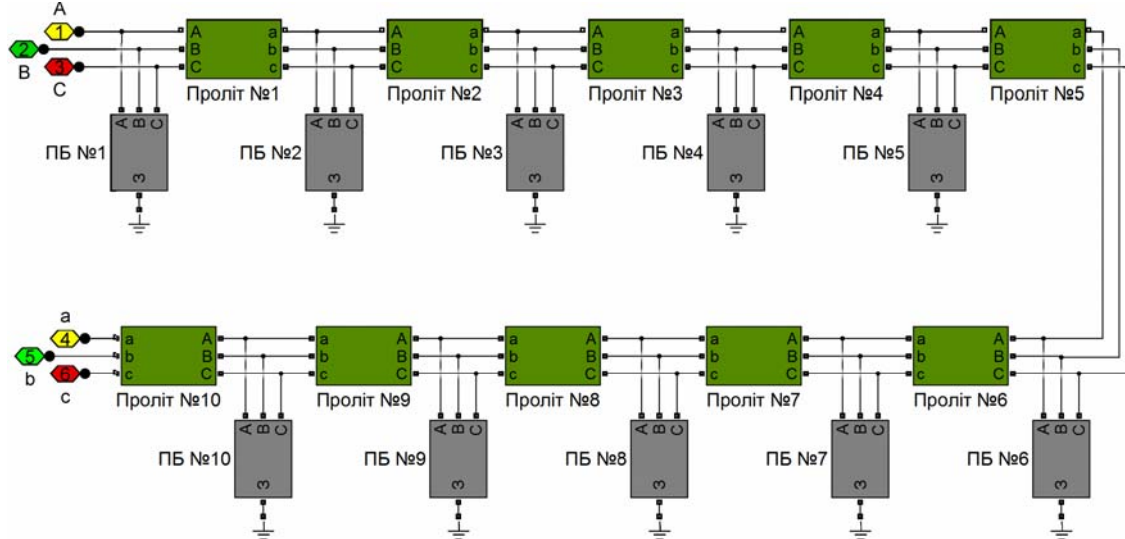


Рисунок 2. Схема блоку "Лінія"

Опори, що моделюються можуть бути:

- однаковими, які відповідають типовій конструкції проміжної опори, що найбільш широко використовується для ПЛ відповідного класу номінальної напруги;
- різними, характерними для вибраної ділянки конкретної ПЛ.

В будь-якому випадку із двох приведених варіантів, схема заміщення кожної опори представляє собою набір індуктивностей, величина яких визначається з використанням відомої геометрії опори, яка зображена на рис. 3. Так, в даній роботі використовуються залізобетонні опори ПБ-35-1, дані про які взяті з [13]. Погонна індуктивність елементів опори прийнята рівною 1 мкГн/м відповідно до [2].

В нормативних документах стосовно опор та протоколах вимірювань вказується опір "розтіканню", отриманий при постійному струмові, однак для розрахунку грозових перенапруг необхідно враховувати величину імпульсного опору. Заради уникнення ускладнення розрахункової моделі, припустимо, що опір заземлюючого пристрою дорівнює 10 Ом.

Повітряна лінія представлена сукупністю розміщених між опорами ділянок ПЛ (прогонів). Кожний прогін ПЛ моделюється за допомогою блоку трифазна RLC-ланка, представленого на рис. 4, що моделює фазні проводи, взаємне розміщення яких задається в залежності від вибраного типу опори з урахуванням

вих елементів імітаційної математичної моделі електричної мережі.

Повітряна лінія моделюється в трифазній постановці відповідно до власних конструктивних особливостей, таких як тип опори і довжина прогону, тип фазних проводів, величина опору заземлення опори, кількість ізоляторів в гірлянді.

довжини гірлянди ізоляторів. Довжини прогонів можуть бути прийняті:

- однаковими, що мають середнє значення для ПЛ 35, 110, 220, 330, 500, 750 кВ, відповідно, 200, 250, 300, 350, 400, 500 м;
- різними, характерними для вибраної ділянки конкретної ПЛ.

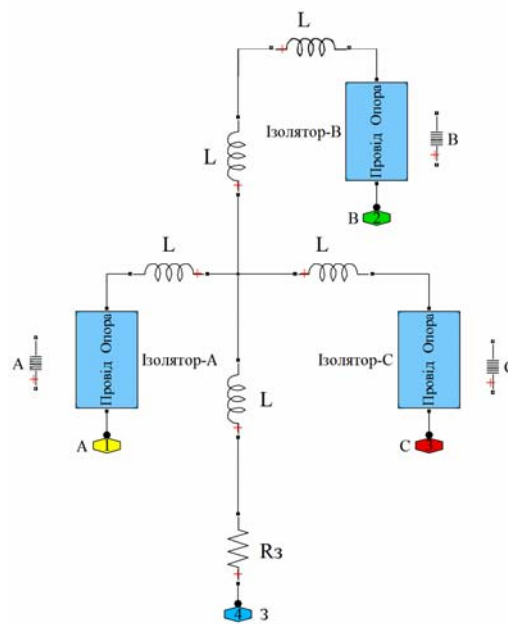


Рисунок 3. Схема заміщення опори ПЛ

В якості фазних проводів прийняті проводи типу AC-120/19.

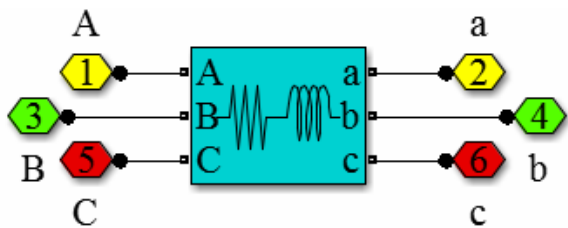


Рисунок 4. Схема заміщення прогону ПЛ

Гірлянда ізоляторів в схемі заміщення опори представляє собою набір ємностей [14] і паралельно ввімкненого активного опору, що моделює струми витоку. На рис. 5 приведена схема заміщення гірлянди ізоляторів. З рисунка видно, що гірлянда на напругу 35 кВ складається з трьох ізоляторів, при цьому ми маємо наступні значення ємностей: $C=50$ пФ – власна ємність ізолятора, $C_1=4$ пФ – ємність ізолятора по відношенню до проводу і $C_2=0,5$ пФ – ємність ізолятора по відношенню до землі.

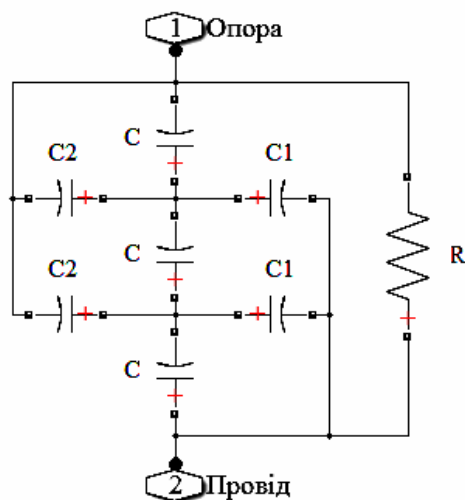


Рисунок 5. Схема заміщення гірлянди ізоляторів

В імітаційній моделі можна використовувати різні моделі ОПН, як прості у вигляді нелінійного опору, так і складні, що містять декілька нелінійних опорів, з'єднаних один з одним з використанням ємностей, індуктивностей та резисторів. При розв'язанні більшості задач достатнім є представлення ОПН у вигляді одного нелінійного активного опору [15], вольт-амперна характеристика якого задається набором відомих точок або аналітичним виразом:

$$U = AI^\alpha,$$

де U – напруга ОПН; A – коефіцієнт, який визначає нелінійність вольт-амперної характеристики ОПН; I – струм, що протікає через ОПН; α – показник степеня.

Для моделювання нелінійного обмежувача перенапруги ОПН-РК-35 використовується влаштований в

середовищі SimPowerSystems блок Surge Arrester.

В дослідженні для моделювання індукованої перенапруги використано вираз наступного вигляду [16]:

$$u(t) = \gamma \cdot U_0 \cdot \left[e^{-\alpha t} - e^{-\beta t} \right],$$

де α і β визначаються швидкостями зростання та спадання струму блискавки і розраховуються за наступними виразами:

$$\alpha = \frac{1}{\tau_1} = \frac{\ln(0,5)}{\tau_\phi - \tau_{xв}}$$

$$\beta = \frac{1}{\tau_2} = \frac{5}{\tau_\phi}$$

τ_ϕ – тривалість фронту хвилі; $\tau_{xв}$ – тривалість хвилі струму блискавки; γ – коригувальний коефіцієнт амплітуди струму блискавки:

$$\gamma = \frac{1}{e^{-\frac{\tau_\phi}{\tau_1}}}$$

Згідно роботи [5] величина індукованої перенапруги визначається виразом:

$$U_0 = 12,5 \cdot I_M \cdot \ln \left[\frac{z_0 + h + \sqrt{(z_0 + h)^2 + r^2}}{z_0 - h + \sqrt{(z_0 - h)^2 + r^2}} \right],$$

де I_M – значення струму блискавки, кА; z_0 – висота між нижньою точкою розряду блискавки та землею, м; h – середня висота підвішування проводу, м; r – відстань між точкою проєкції розряду на землю та трасою лінії, м.

В даній роботі прийняті величини струму блискавки, що є характерною для території України і становить 30 кА. Параметр імпульсу струму блискавки – 8/40 (тривалість фронту/тривалість хвилі).

В результаті проведення моделювання у випадку розряду блискавки безпосередньо в землю на відстані 50 м від траси ПЛ при відсутності ОПН було отримано осцилограми напруг зображені на рис. 6 та графік розподілу напруги по трасі повітряної лінії електропередавання залежно від часу, що представлений на рис. 7.

Як видно з приведених рисунків, значення напруги перевищує максимально допустиме для електричної мережі номінальною напругою 35 кВ, що становить 200 кВ [17].

Проведемо дослідження впливу наведеної напруги у випадку використання нелінійних обмежувачів перенапруги.

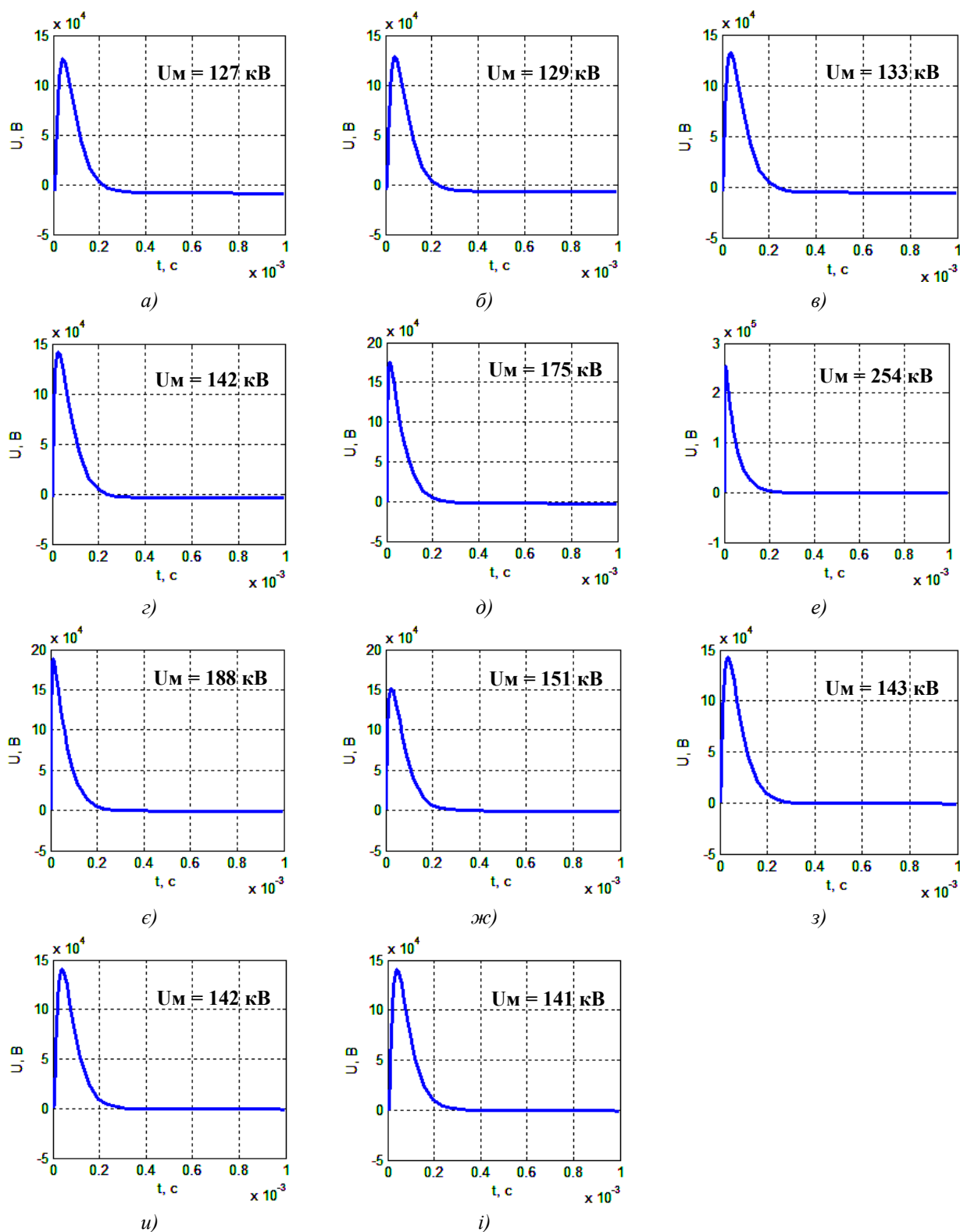


Рисунок 6. Осцилограми напруг при розряді блискавки в землю біля середини лінії на відстані 50 м від траси ПЛ без ОПН: а) – на початку лінії; б) – на відстані 2 км від початку лінії; в) – на відстані 4 км від початку лінії; г) – на відстані 6 км від початку лінії; д) – на відстані 8 км від початку лінії; е) – на відстані 10 км від початку лінії; е) – на відстані 12 км від початку лінії; ж) – на відстані 14 км від початку лінії; з) – на відстані 16 км від початку лінії; и) – на відстані 18 км від початку лінії; і) – на відстані 20 км від початку лінії

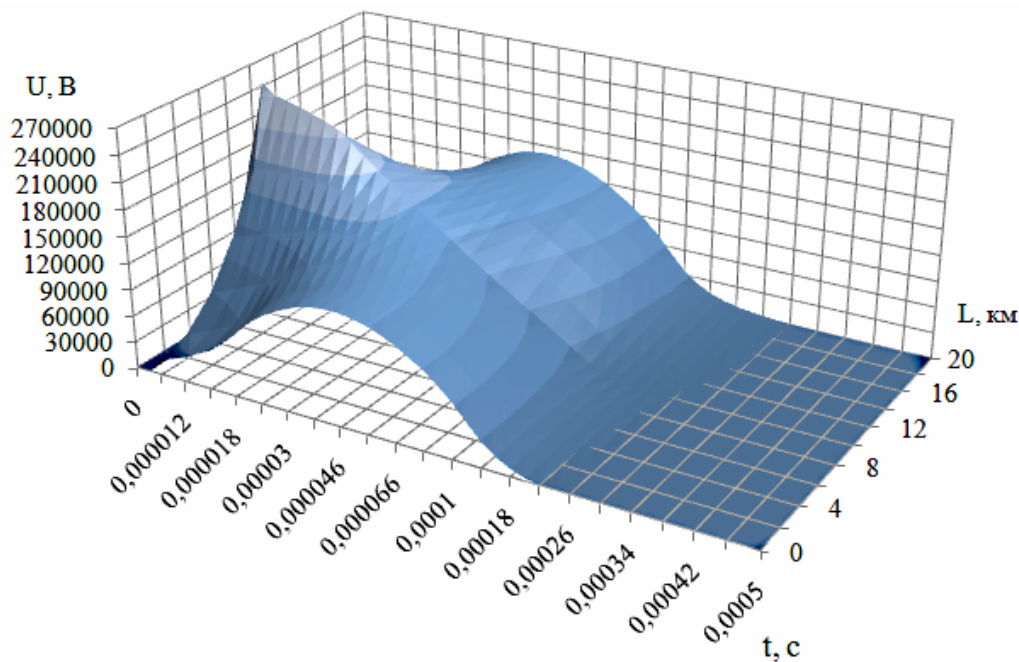


Рисунок 7. Розподіл напруги вздовж траси ПЛ при розряді блискавки в землю біля середини лінії на відстані 50 м від траси лінії без ОПН

Розглянемо варіант встановлення ОПН на опорах паралельно ізоляторам на кожній фазі через 2 км. На рис. 8 та рис. 9 представлено осцилограми напруг, а

на рис. 10 – графік розподілу напруги вздовж траси ПЛ при використанні ОПН.

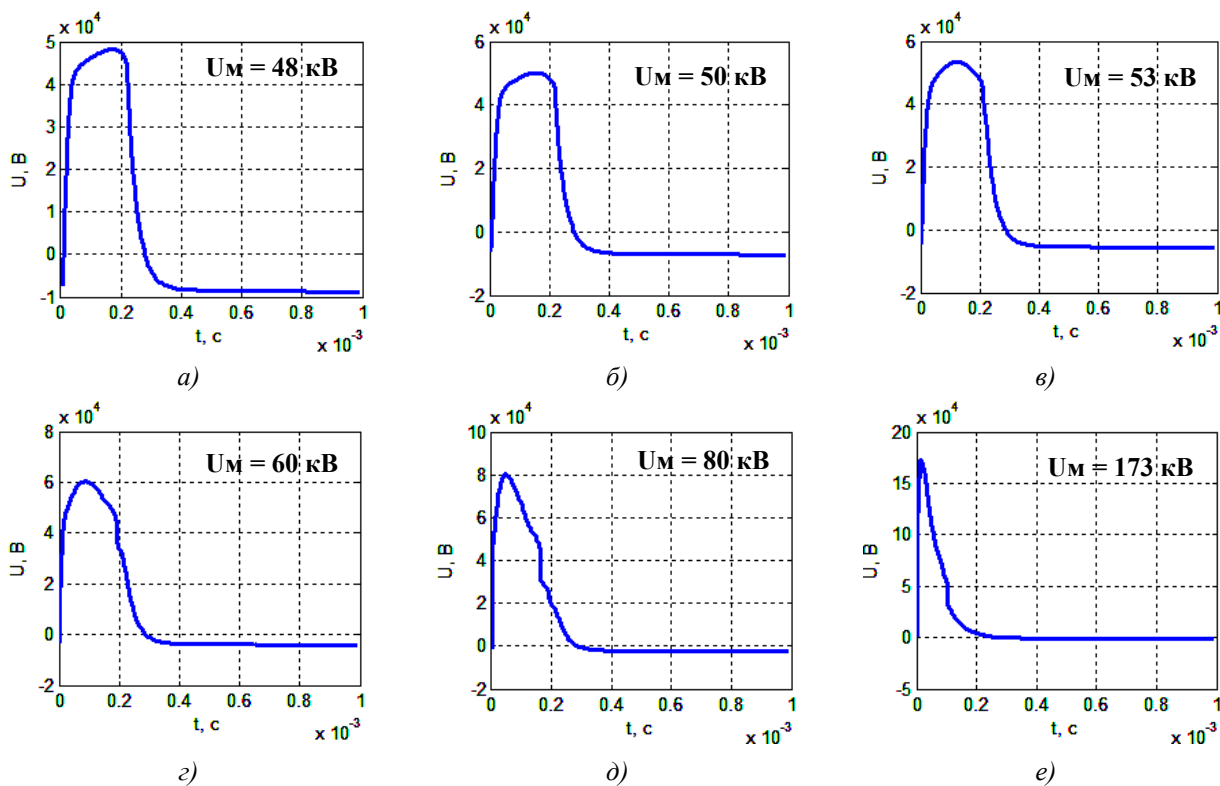


Рисунок 8. Осцилограми напруг при розряді блискавки в землю біля середини лінії на відстані 50 м від траси лінії з встановленням ОПН через 2 км: а) – на початку лінії; б) – на відстані 2 км від початку лінії; в) – на відстані 4 км від початку лінії; г) – на відстані 6 км від початку лінії; д) – на відстані 8 км від початку лінії; е) – на відстані 10 км від початку лінії

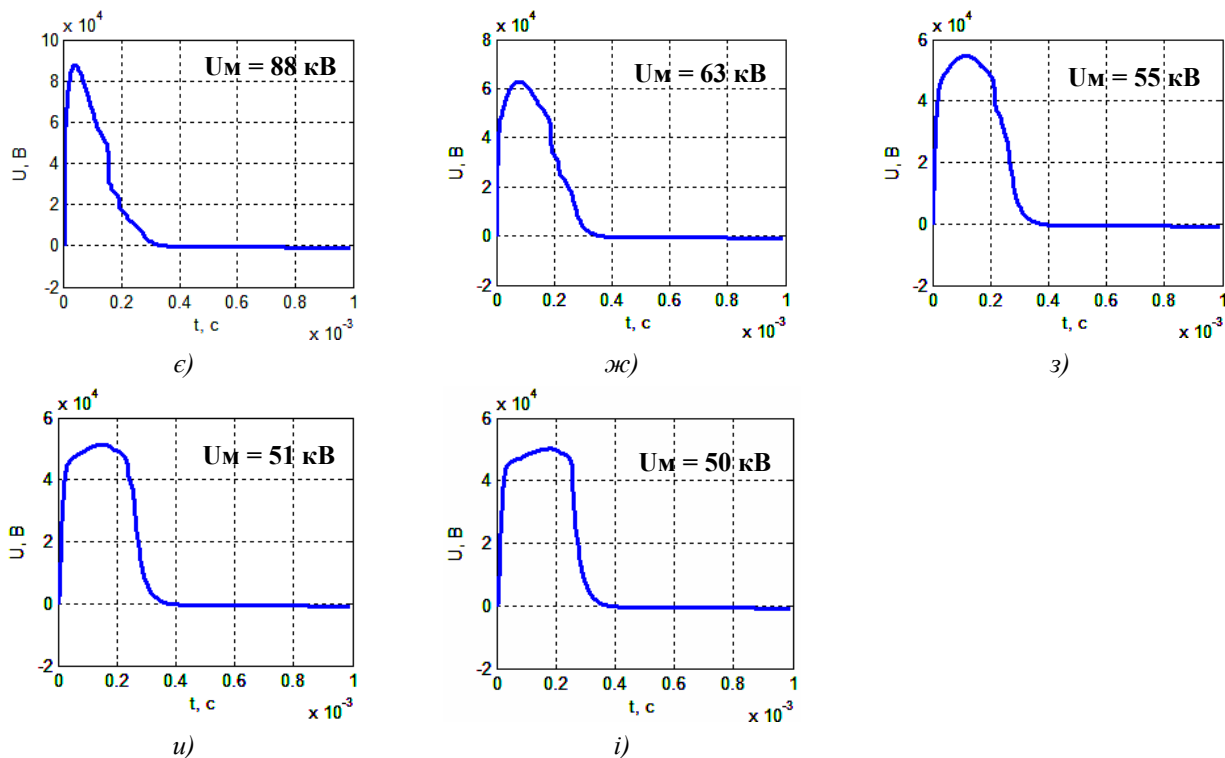


Рисунок 9. Осцилограми напруг при розряді блискавки в землю біля середини лінії на відстані 50 м від траси лінії з встановленням ОПН через 2 км: е) – на відстані 12 км від початку лінії; ж) – на відстані 14 км від початку лінії; з) – на відстані 16 км від початку лінії; и) – на відстані 18 км від початку лінії; і) – на відстані 20 км від початку лінії

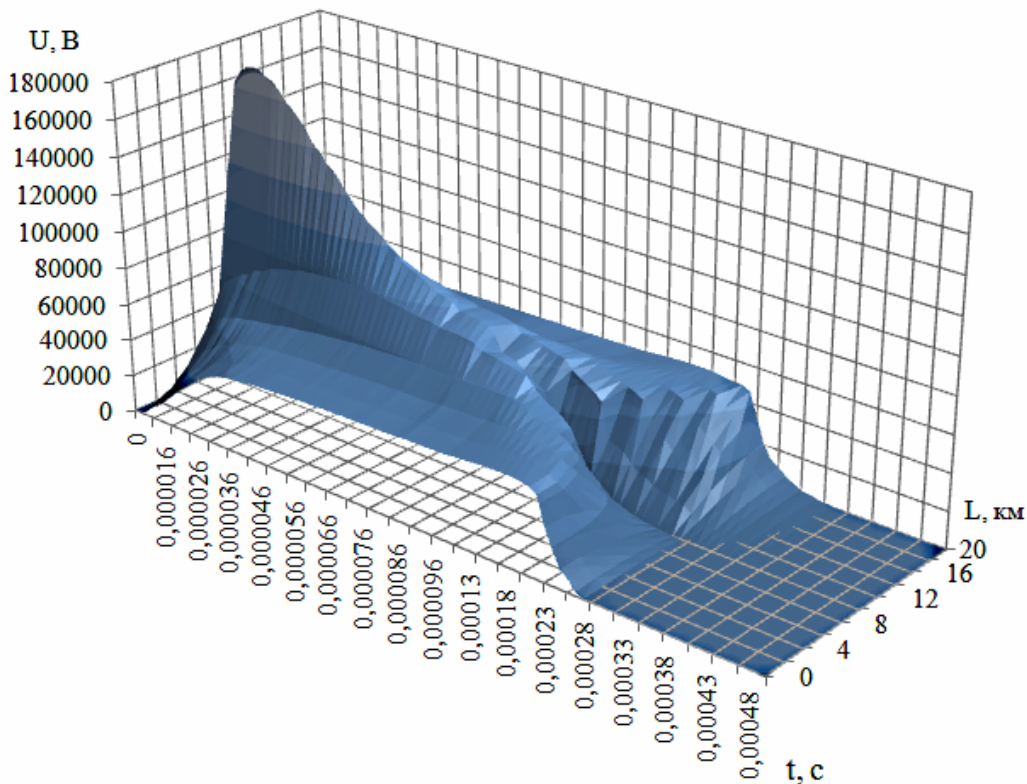


Рисунок 10. Розподіл напруги вздовж траси ПЛ при розряді блискавки в землю біля середини лінії на відстані 50 м від траси лінії з встановленням ОПН через 2 км

Аналіз результатів імітаційного моделювання показує, що встановлення ОПН через кожні 2 км повітряної лінії дозволяє зменшити напругу до рівня 173 кВ, що для ПЛ 35 кВ є допустимим.

Виконаємо моделювання варіанту встановлення ОПН на опорах розміщених на відстані 2 км від початку та 2 км від кінця ПЛ. Результатом є графік розподілу напруги вздовж траси повітряної лінії, приведений на рис. 11 та осцилограми напруг, що зображені на рис. 12 та рис. 13.

З рисунків видно, що при встановленні обмежувачів перенапруги на опорах, розміщених на відстані 2 км від початку та 2 км від кінця ПЛ, захист забезпечується лише по кінцях повітряної лінії електропередавання. При цьому в окремих точках, особливо біля середини лінії, напруга досягає значення 250 кВ, що призводить до перебиття ізоляторів та відключення лінії електропередавання. Таким чином, даний варіант не забезпечить захист електричної мережі в повній мірі.

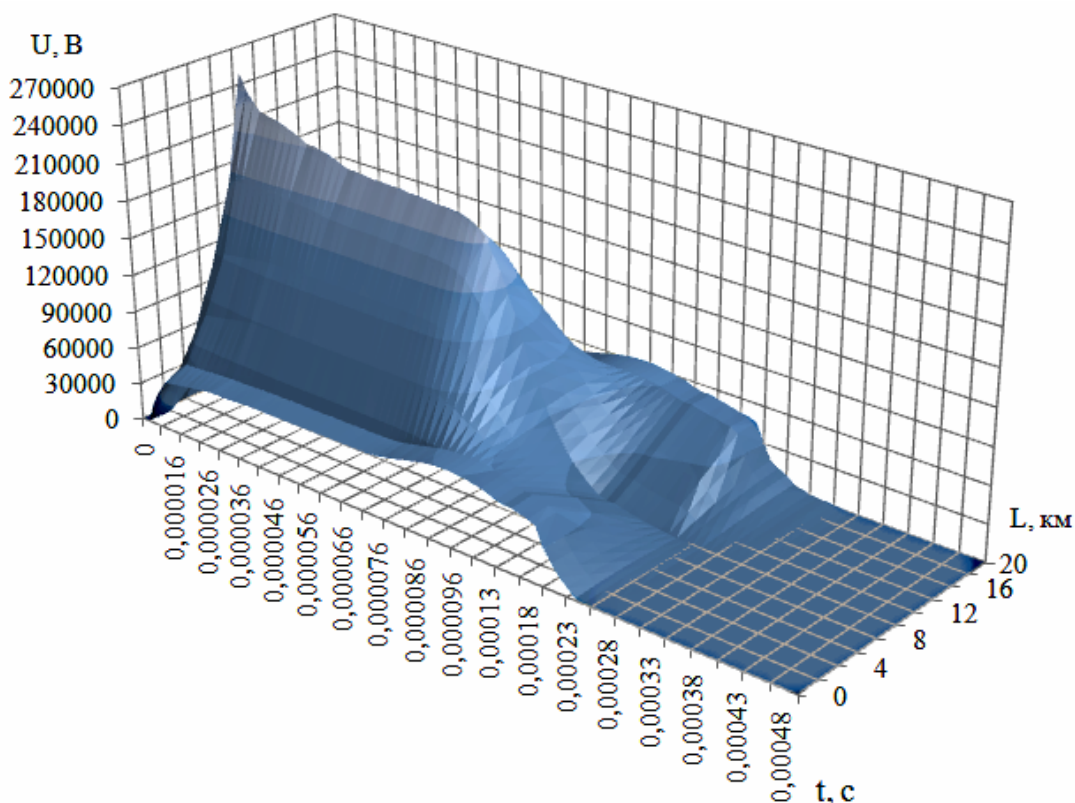


Рисунок 11. Розподіл напруги вздовж траси ПЛ при розряді блискавки в землю біля середини лінії на відстані 50 м від траси лінії з встановленням ОПН на опорах, розміщених на відстані 2 км від початку та 2 км від кінця ПЛ

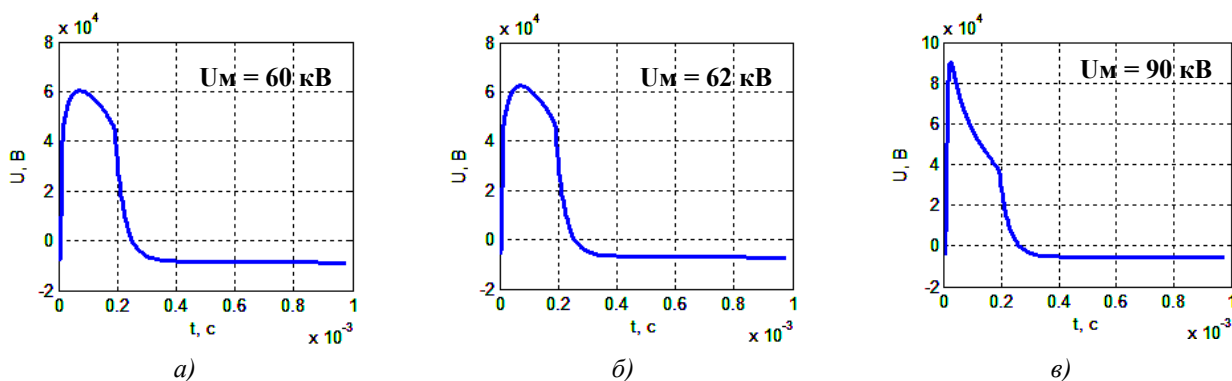


Рисунок 12. Осцилограми напруг при розряді блискавки в землю біля середини лінії на відстані 50 м від траси лінії з встановленням ОПН на опорах, розміщених на відстані 2 км від початку та 2 км від кінця ПЛ: а) – на початку лінії; б) – на відстані 2 км від початку лінії; в) – на відстані 4 км від початку лінії

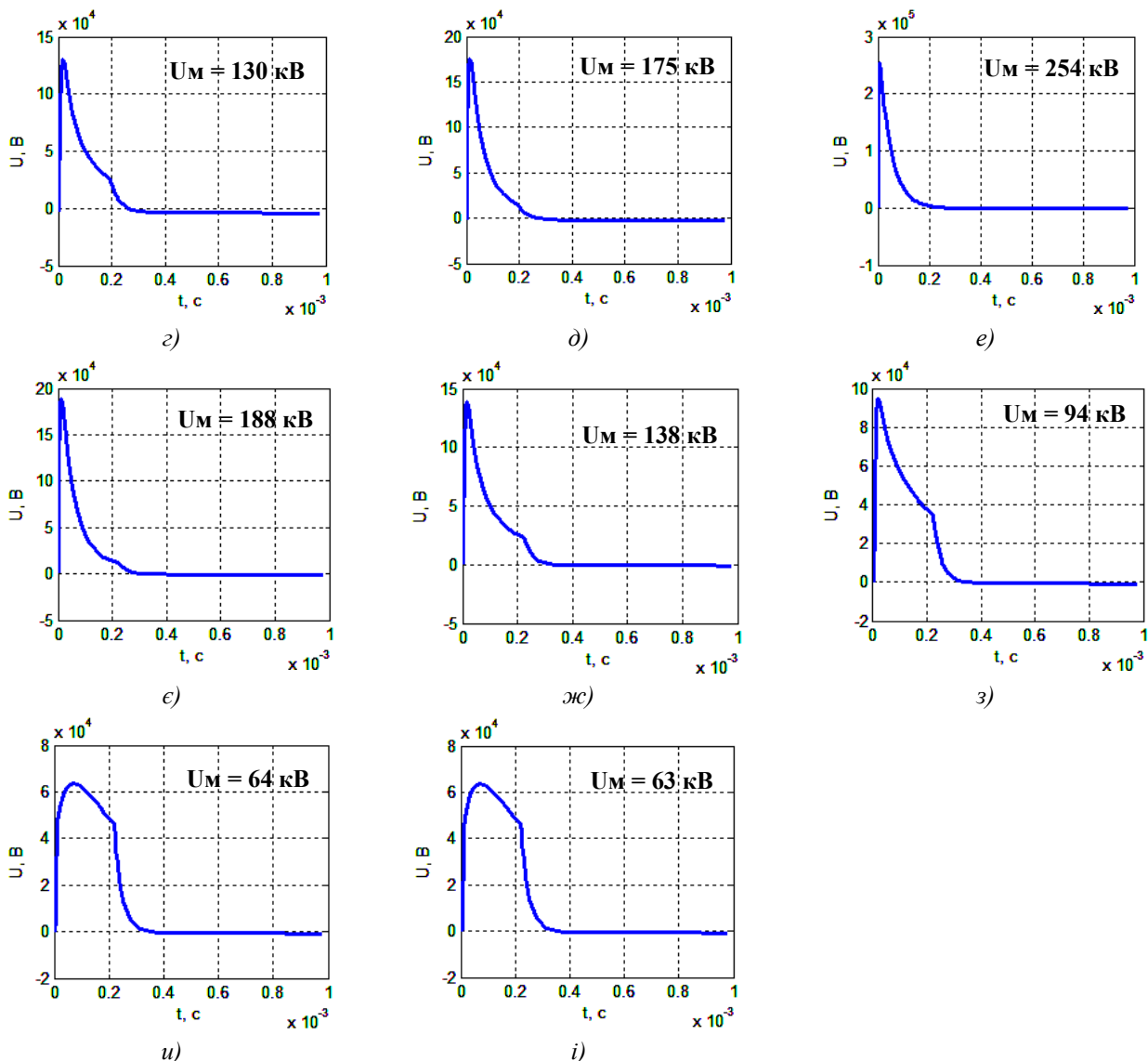


Рисунок 13. Осцилограми напруг при розряді блискавки в землю біля середини лінії на відстані 50 м від траси лінії з встановленням ОПН на опорах, розміщених на відстані 2 км від початку та 2 км від кінця ПЛ: г) – на відстані 6 км від початку лінії; д) – на відстані 8 км від початку лінії; е) – на відстані 10 км від початку лінії; є) – на відстані 12 км від початку лінії; ж) – на відстані 14 км від початку лінії; з) – на відстані 16 км від початку лінії; и) – на відстані 18 км від початку лінії; і) – на відстані 20 км від початку лінії

V. ВИСНОВКИ

1. В результаті моделювання режиму роботи електричної мережі номінальною напругою 35 кВ без встановлення нелінійних обмежувачів перенапруги при виникненні розряду блискавки біля середини лінії безпосередньо в землю на відстані 50 м від траси ПЛ, в ній виникає наведена напруга величиною, що перевищує 250 кВ. Це може призводити до перекриття гірлянд ізоляторів та подальшого відключення лінії електропередавання.

2. Аналіз варіанту роботи електричної мережі зі встановленням ОПН на опорах паралельно ізоляторам через кожні 2 км показав, що індуквана перенапруга в даному випадку обмежується на рівні 173 кВ, що є

допустимим для ПЛ 35 кВ.

3. Встановлення ОПН на опорах, розташованих на відстані 2 км від початку та 2 км від кінця лінії електропередавання, дозволяє зменшити перенапругу лише по кінцях лінії, однак в середині лінії рівень напруги може перевищувати 250 кВ, що є небезпечним для ПЛ 35 кВ. Таким чином, найкращим варіантом розміщення обмежувачів перенапруги на повітряних лініях електропередавання 35 кВ є їх встановлення через кожні 2 км, що, в свою чергу, дозволить зменшити капіталовкладення в будівництво нових або реконструкцію існуючих ліній електропередавання, по відношенню до варіанта зі встановленням ОПН на кожній опорі, а також забезпечити надійну роботу всієї електричної мережі.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Базелян, Э.М. Физика молнии и молниезащиты / Э.М. Базелян, Ю.П. Райзер. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2001. – 320 с.
- [2] Тиходеев, Н.Н. РД 153-34.3-35.125-99. Руководство по защите электрических сетей 6-1150 кВ от грозовых и внутренних перенапряжений / Н.Н. Тиходеев. – 2-е изд. – СПб.: ПЭИПК Минтопэнерго РФ, 1999. – 355 с.
- [3] Wang, Lei. Calculation and analysis of induced overvoltage on a transmission line caused by lightning strike to the tower / Lei Wang, Fuchang Lin, Fei Yan // Power System Technology. – 2006. – №30. – pp. 271-274.
- [4] ГНД 34.20.177-2004 "Вимоги до проектування повітряних ліній електропередачі напругою 6-35 кВ з проводами із захисним покриттям", затверджений наказом Міністерства енергетики та вугільної промисловості України, 2004. – 24 с.
- [5] Ping, Liu. Calculation on Induced Overvoltage on Low-voltage Overhead Lines / Liu Ping, Yi Xiao, Wang Xu, Lu Yongling, Yu Jianhui, Zhou Wenjun // IEEE Power Engin and Autom. Conf. (PEAM). – 2011. – Vol.2. – pp. 68-72.
- [6] Demailly B. Installation of composite surge arresters on transmission line / B. Demailly, F. Maciela., S. Tartier // CIGRE Session. – 2002. – Report No. 33. – pp. 203-209.
- [7] Тиховод, С.М. Совершенствование численных методов расчета электромагнитных процессов в сложных нелинейных электрических и магнитных цепях / С.М. Тиховод // Електротехніка та електроенергетика. – 2007. – №1. – с. 56-60.
- [8] Кирик, В.В. Визначення оптимального місця встановлення ОПН / В.В. Кирик, С.А. Абдулаев // Міжнародний науково-технічний журнал молодих вчених, аспірантів і студентів "Сучасні проблеми електроенергетичної та автоматики". – 2016. – с. 104-106.
- [9] Базуткин, В.В. Перенапряжение в электрических системах и защита от них: Учебник для вузов / В.В. Базуткин, К.П. Кадомская, М.В. Костенко, Ю.А. Михайлов. – СПб.: Энергоатомиздат, Санкт-Петербургское отд-ние, 1995. – 320 с.
- [10] Залужный, М.Ю. Моделирование нестационарных электромагнитных процессов в системе электроснабжения энергоемких электротехнологических комплексов / М.Ю. Залужный // Електротехніка та електроенергетика. – 2009. – №2. – С. 70-73.
- [11] Mcdermott, T.E. Lightning protection of distribution lines / T.E. Mcdermott, T.A. Short, J.G. Anderson // IEEE Transactions on Power Delivery. – 1994. – №1. – Vol.9. – pp. 138-146.
- [12] Винокурова, Є.В. Оцінка наведеної напруги на лінії електропередавання напругою 10 кВ / Є.В. Винокурова, С.С. Ворона, В.В. Кирик, В.В. Дремов // Гідроенергетика України. – 2014. – №4. – с. 42-43.
- [13] Файбисович, Д.Л. Справочник по проектированию электрических сетей / Д.Л. Файбисович. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: ЭНАС, 2012. – 376 с.
- [14] Разевиг, Д.В. Техника высоких напряжений: Учебник для студентов электротехнических и электроэнергетических специальностей вузов / Д.В. Разевиг. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Энергия, 1976. – 488 с.
- [15] Кадомская, К.П. Влияние способа моделирования ОПН и волны тока молнии на энергетические характеристики защитных аппаратов, установленных на опорах ВЛ / К.П. Кадомская, А.А. Рейхердт // Электромеханика и Электроэнергетика: Научный вестник НГТУ. – 2002. – №1. – С. 91-100.
- [16] Кадомская, К.П. Перенапряжения в электрических сетях различного назначения и защита от них: Учебник / К.П. Кадомская, Ю.А. Лавров, А.А. Рейхердт. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2004. – 320 с.
- [17] Халилов, Ф.Х. Защита сетей 6-35 кВ от перенапряжений / Ф.Х. Халилов, Г.А. Евдокунин, В.С. Поляков. – СПб., – 2002. – 260 с.

Стаття надійшла до редакції 02.05.2018

ЗАЩИТА ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ НАПРЯЖЕНИЕМ 35 КВ ОТ НАВЕДЕННЫХ ГРОЗОВЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ

КИРИК В.В.

д-р техн. наук, профессор, зав. каф. электрических сетей и систем Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт им. Игоря Сикорского», Киев, Украина, e-mail: vkyuky@ukr.net;

АБДУЛАЕВ С.А.

магистрант кафедры электрических сетей и систем Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт им. Игоря Сикорского», Киев, Украина, e-mail: seryk15abdulaev@rambler.ru;

Цель работы. Разработать рекомендации по определению оптимальных мест установки нелинейных ог-

раничителей перенапряжения для защиты воздушных линий электропередачи от воздействия грозových перенапряжений на основе модели электрической сети номинальным напряжением 35 кВ и провести исследования распределения индуцированного перенапряжения во времени вдоль трассы линии электропередачи.

Методы исследования. В основу работы положено имитационное математическое моделирование процессов возникновения грозových перенапряжений в воздушной линии электропередачи номинальным напряжением 35 кВ. Обработка результатов исследования выполнялась с использованием современного прикладного программного обеспечения: MathCAD, среды SimPowerSystems пакета программ MATLAB.

Полученные результаты. В процессе выполнения работы были получены оптимальные расстояния, через которые необходимо устанавливать нелинейные ограничители перенапряжения для обеспечения защиты электрической сети номинальным напряжением 35 кВ от индуцированного грозового перенапряжения. В результате сравнения двух вариантов размещения ОПН на воздушной линии электропередачи, а именно через каждые 2 км и на двух опорах, расположенных на расстоянии 2 км от начала и 2 км от конца линии, определено, что оптимальным вариантом является установка ограничителей перенапряжения через каждые 2 км вдоль всей трассы воздушной линии.

Научная новизна. Авторами проведено имитационное математическое моделирование различных вариантов размещения нелинейных ограничителей перенапряжения вдоль трассы воздушной линии электропередачи номинальным напряжением 35 кВ. Определены наиболее оптимальные места их установки.

Практическая ценность. Результаты работы могут быть использованы при проектировании новых или реконструкции существующих воздушных линий электропередачи 35 кВ, что позволит обеспечить их защиту от грозových перенапряжений и уменьшить количество аварийных отключений.

Ключевые слова: нелинейный ограничитель перенапряжения; грозовые перенапряжения; молниезащита; наведенное напряжение; грозовой импульс тока.

PROTECTION OF 35 KV OVERHEAD TRANSMISSION LINE FROM THE INDUCED LIGHTNING OVERVOLTAGE

KYRYK V.V.

Sci.D, Professor, head of the department of electrical networks and systems of the National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine, e-mail: vkyryk@ukr.net

ABDULAIEV S.A.

master of the department of electrical networks and systems of the National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine, e-mail: seryk15abdulaev@rambler.ru;

Purpose. Develop recommendations for determining the optimal places for the installation of nonlinear overvoltage limiters for the protection of overhead transmission lines from the influence of lightning overvoltage on the basis of the model of the electric network 35 kV and to conduct research of the distribution of induced overvoltage in time along the route of the transmission line.

Methodology. The basis of the work is the simulation mathematical modeling of the processes of the occurrence of lightning overvoltage in the overhead transmission line 35 kV. For processing the research result, modern application software such as MathCAD, the environment of the SimPowerSystems software package MATLAB, was used.

Findings. In the course of the work, optimal distances, through which nonlinear overvoltage limiters should be installed to ensure the protection of electric network 35 kV from the induced lightning overvoltage, were obtained. As the result of the comparison of the two variants of the location of the nonlinear overvoltage limiters on the transmission line, namely every 2 km and on two towers located at a distance of 2 km from the beginning and 2 km from the end of the line, it was determined that the optimal option is to set overvoltage limiters every 2 km along the entire route of the overhead transmission line.

Originality. Simulation mathematical modeling of various variants of placement of nonlinear overvoltage limiters along the route of overhead transmission line 35 kV was carried out by the authors. The most optimal places of their installation was determined.

Practical value. The results of the work can be used in designing new or reconstruction of existing overhead transmission lines 35 kV, which will allow them to be protected from lightning overvoltage and reduce the number of emergency shutdowns.

Keywords: nonlinear overvoltage limiters; storm surges; lightning protection; induced voltage; lightning impulse current.

REFERENCES

- [1] Bazeljan, Je.M., Rajzer, Ju.P. (2001). Fizika molnii i molniezashhity. Moscow, Fizmatlit, 320.
- [2] Tihodeev, N.N. (1999). RD 153-34.3-35.125-99. Rukovodstvo po zashhite jelektricheskikh setej 6-1150 kV ot grozovyh i vnutrennih perensprjazhenij, 2-e izd. Sankt-Peterburg, PJeIPK Mintopjenergo RF, 355.
- [3] Wang Lei, Lin Fuchang, Yan Fei. (2006). Calculation and analysis of induced overvoltage on a transmission line caused by lightning strike to the tower. Power System Technology, 30, 271-274.
- [4] GND 34.20.177-2004. (2004). Vymogy do proektuvannja povitrijanyh linij elektroperedachi naprugoju 6-35 kV z provodamy iz zahysnym pokryttjam, zatverdzenyj nakazom Minpalyvenergo Ukrainy vid 02.03.2004 №130. [Requirements for the design of 6-35 kV overhead transmission lines with wires with a protective coating, approved by the order of the mineral fuel supplies of Ukraine from 02.03.2004 №130]. Kyiv, Ministry of Energy and Coal Industry of Ukraine, 24.
- [5] Ping Liu, Xiao Yi, Xu Wang, Yongling Lu, Jianhui Yu, Wenjun Zhou. (2011). Calculation on Induced Overvoltage on Low-voltage Overhead Lines. IEEE Power Engin and Autom. Conf. (PEAM), 2, 68-72.
- [6] Demailly B., Maciela F., Tartier S. (2002). Installation of composite surge arresters on transmission line. CIGRE Session, 33, 203-209.
- [7] Tikhovod, S. (2007). Improvement of numerical methods of calculation of electromagnetic processes in complex nonlinear electric and magnetic chains. *Electrical Engineering And Power Engineering*, 1, 56-60.
- [8] Kyryk V.V., Abdulaiev S.A. (2016). Vyznachennja optimalnogo miscja vstanovlennja OPN [Determination of the optimum location of the nonlinear overvoltage limiters]. *Mizhnarodnyj naukovo-tehnicnyj zhurnal molodyh vchenyh, aspirantiv i studentiv "Suchasni problem elektroenergetiki ta avtomatyky"*, 104-106.
- [9] Bazutkin V.V., Kadomskaja K.P., Kostenko M.V., Mihajlov Ju.A. (1995). Perenaprjazhenie v jelektricheskikh sistemah i zashhita ot nih: Uchebnik dlja vuzov. Sankt-Peterburg, Jenergoatomizdat, Sankt-Peterburgskoe otd-nie, 320.
- [10] Zaluzhnyi, M. (2009). Simulation of non-stationary electromagnetic processes in the system of electrical supply of energoemic electrotechnological complexes. *Electrical Engineering And Power Engineering*, 2, 70-73.
- [11] Mcdermott T.E., Short T.A., Anderson J.G. (1994). Lightning protection of distribution lines. IEEE Transactions on Power Delivery, 1, 9, 138-146.
- [12] Vynokurova Je.V., Vorona S.S., Kyryk V.V., Dremov V.V. (2014). Ocinka navedenoi napruhy na linii elektroperedavannja naprugoju 10 kV [Assessment of the induced voltage on the transmission line 10 kV]. *Gidroenergetyka Ukrainy*, 4, 42-43.
- [13] Fajbisovich D.L. (2012). Spravochnik po proektirovaniju jelektricheskikh setej, 4-e izd., pererab. i dop. Moscow, JeNAS, 376.
- [14] Razevig D.V. (1976). Tehnika vysokih naprjazhenij: Uchebnik dlja studentov jelektrotehniceskikh i jelektrojenergeticheskikh specialnostej vuzov, izd. 2-e, pererab. i dop. Moscow, Jenergija, 488.
- [15] Kadomskaja K.P., Rejherdt A.A. (2002). Vlijanie sposoba modelirovanija OPN i volny toka molnii na jenergeticheskie charakteristiki zashhitnyh apparatov, ustanovlennyh na oporah VL [Influence of the method of simulation of nonlinear overvoltage limiters and lightning current waves on the energy characteristics of protective apparatuses installed on the towers of overhead transmission lines]. *Jelektromehanika i Jelektrojenergetika: Nauchnyj vestnik NGTU*, 1, 91-100.
- [16] Kadomskaja K.P., Lavrov Ju.A., Rejherdt A.A. (2004). Perenaprjazhenija v jelektricheskikh setjah razlichnogo naznachenija i zashhita ot nih: Uchebnik. Novosibirsk, izd-vo NGTU, 320.
- [17] Halilov F.H., Evdokunin G.A., Poljakov V.S. (2002). Zashhita setej 6-35 kV ot perenaprjazhenij. Sankt-Peterburg, 260.