

ДОСЛІДЖЕННЯ ФОРМИ І ВЕЛИЧИН НАВЕДЕНИХ ПЕРЕНАПРУГ, ЩО ВИНИКАЮТЬ В ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЯХ ІЗ ЗАХИЩЕНИМИ ПРОВОДАМИ ПРИ УДАРАХ БЛИСКАВКИ

Шевченко С. Ю., Довгальок О. М., Піротті О. Є., Єрмоленко Б. Ф., Дривецький С. І.

Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут"

Проведено експериментальні дослідження зміни фронту індукованої перенапруги порівняно з вихідним імпульсом напруги, а також вимірювання амплітуди індукованого на проводі імпульсу перенапруги.

Постановка проблеми. Аналіз досвіду експлуатації розподільчих електричних мереж показує, що їх надійність нижче, ніж у системоутворюючих та живильних мереж, виконаних на більш високих класах напруги. Пошкодження в розподільчих мережах обумовлюють більшу частину збитку, пов'язаного з перервами в електропостачанні споживачів. Однією з основних причин аварій та порушень електропостачання в таких мережах є грозові перенапруги на повітряних лініях (ПЛ), що викликають імпульсні перекриття і руйнування ізоляторів, а також призводять до дугових замикань із супутнім пошкодженням обладнання і відключенням лінії.

Аварійні відключення ВЛ 6-35 кВ з причини грозових перенапруг складають до 40% від загального числа їх відключень. Через низьку імпульсну міцність ізоляції устаткування, що експлуатується в розподільчих мережах, схильне до перекриттів як від перенапруг при прямих ударах блискавки, так і від індуктованої перенапруги при розряді блискавки поблизу лінії. Останні є основною причиною грозових вимкнень і пошкоджень обладнання мереж 6-35 кВ, складаючи в деяких випадках до 90% від загальної кількості пошкоджень.

Надійність електропостачання споживачів багато в чому залежить від ефективності грозозахисних заходів в розподільчих мережах. Діючі в даний час норми правил улаштування електроустановок [1] не передбачають засобів захисту від грозових перенапруг для ПЛ з неізольованими проводами напругою до 20 кВ. Таким чином, дослідження електромагнітних процесів, що виникають в повітряних лініях із захищеними проводами (ПЛЗ) при ударах блискавки поблизу ліній, є важливим завданням для енергетики.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Протягом значного часу дослідженню перенапруг в електричних мережах та заходам щодо захисту від них приділялось багато уваги [2, 3].

Значна кількість робіт присвячена дослідженню особливостей блискавки та перенапруг, що виникають в електричних мережах, питанням виконання блискавкозахисту, покращенню ефективності роботи захисних пристроїв, застосуванню моделювання для дослідження процесів в електричних мережах при утворенні грозових перенапруг, розробці та вдосконаленню заходів щодо захисту від перенапруг [4-7].

Проте недостатньо досліджень проведено щодо аналізу впливу сучасних аспектів блискавкозахисту розподільчих електричних мереж.

Мета статті. Головною метою цієї роботи є дослідження форми і величини наведених перенапруг, що виникають в ПЛЗ при ударах блискавки поблизу ліній.

Основні матеріали дослідження. ПЛ 6-35 кВ мають дуже низький рівень грозоупорності через малу електричну міцність штирьових ізоляторів і високу ймовірність виникнення коротких замикань (КЗ) після імпульсного перекриття. Крім того, з великою ймовірністю ізоляція цих ПЛ перекривається від індуктованої перенапруги при близьких ударах блискавки в землю.

Найвідомішим засобом, який хоча і не захищає безпосередньо від грозових впливів, але скорочує ступінь їх наслідків, є автоматичне повторне включення (АПВ), ефективність якого для розподільчих мереж становить не більше 50%. Слід зазначити, що робота АПВ негативним чином впливає на комутуючі пристрої та інше високовольтне обладнання, внаслідок чого застосовується далеко не скрізь в розподільчих мережах. Такий об'єктивний стан проблеми грозозахисту ПЛ в розподільчих мережах призвів до неминучості їх грозових аварійних вимкнень і пошкоджень в силу відсутності економічно доступних технічних засобів.

Враховуючи викладені факти, в останні роки в розподільчих мережах застосовуються ПЛЗ, використання яких сприяє виробленню і прийняттю нових прогресивних технічних рішень в області грозозахисту.

ПЛЗ мають відчутні експлуатаційно-технічні переваги перед ПЛ з неізольованими проводами за меншою пошкоджуваністю, більшою надійністю. Особливістю проблеми грозозахисту ПЛЗ є те, що у разі відсутності спеціальних заходів при грозовому перекритті ізолятора лінії, супроводжуваному пробоем твердої ізоляції проводу, дуга промислової частоти, що утворюється з великою ймовірністю, не має можливості переміщатися вздовж дроту і горить в місці пробоем ізоляції до моменту відключення лінії. Це може призвести до пережогу ізоляції проводу, пробоем ізолятора лінії, а в разі виникнення дуги - до пережогу проводу.

Оскільки на ПЛ з неізольованими проводами дуга під впливом електродинамічних сил здатна переміщатися одним зі своїх кінців уздовж проводу, фактор пошкодження проводу внаслідок теплового впливу дуги був малозначним, і ніяк не впливав на формування концепції грозозахисту ПЛ. У разі ж ВЛЗ запобігання пережогу проводу стає головною умовою, що визнає необхідність обов'язкового застосування тих чи інших грозозахисних заходів.

У зв'язку з цим співробітники Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут" спільно з фірмою "СІКАМ Україна" провели дослідження можливості підвищення грозоупорності ПЛЗ. Для вирішення цієї задачі у лабораторії надвисоких напруг кафедри передачі електричної енергії Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут" було створено фізичну модель ПЛ, що дозволяє досліджувати процес в лінії з захищеними проводами. З використанням зазначеної моделі було проведено серію експериментів для дослідження форми і величини наведених перенапруг, що виникають в ПЛЗ при ударах блискавки поблизу ліній при різних геометричних параметрах ліній.

В якості джерела високої напруги використовувався генератор імпульсних напруг (ГІН) з максимальною напругою 2,4 МВ, зовнішній вигляд якого представлено на рис. 1.

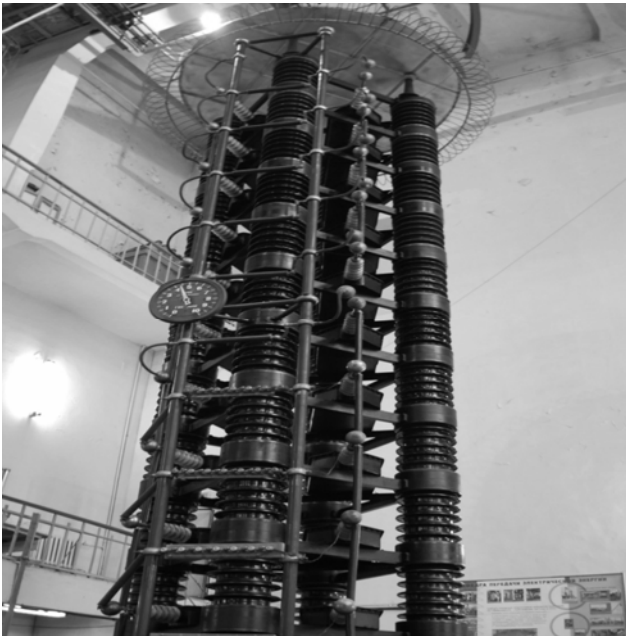


Рисунок 1 – Генератор імпульсних напруг 2,4 МВ

Загальний вигляд моделі, що використовувалась для досліджень, показано на рис. 2.

Відповідно до методики вибору масштабу моделювання коефіцієнт моделювання визначається як відношення висоти орієнтування блискавки до висоти орієнтування лабораторної іскри

$$K = \frac{H_{об}}{H_{oi}} = \frac{h_n}{h_m} = 30, \quad (1)$$

де $H_{об}$ – висота орієнтування блискавки;

H_{oi} – висота орієнтування лабораторної іскри;

h_n , h_m – висоти до точки підвісу проводів і моделі відповідно.

Висота орієнтування лабораторної іскри може бути визначена, виходячи з того, що висота орієнтуван-

ня блискавки при висотах об'єктів ураження до 30 м становить $5h_n$ [8]. Тому висота орієнтування лабораторної іскри визначається за виразом

$$h_m = \frac{5h_n}{30} = 1 \text{ м}, \quad (2)$$

де h_m – модельна висота підвісу проводу.

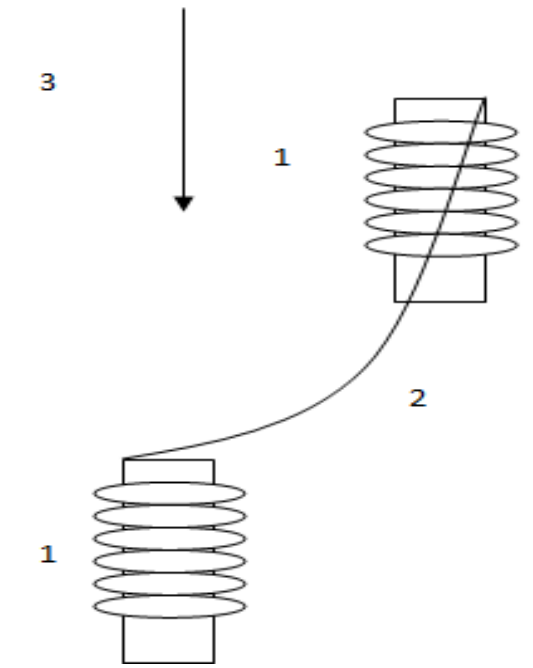


Рисунок 2 – Загальний вигляд моделі:
1 – опорний ізолятор, 2 – захищений провід, 3 – електрод, що імітує блискавку

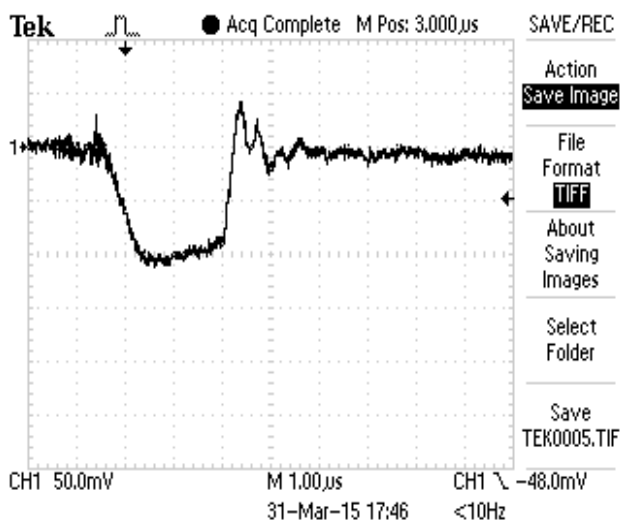
При проведенні експериментальних досліджень параметри моделі були наступними:

- електрод був на висоті 1 м від поверхні "землі";
- на висоті 0,35 м від поверхні "землі" був підвішений захищений провід, підключений до ємнісного дільника напруги 500 кВ з оптичною розв'язкою, до якого був підключений осцилограф;
- електрод, що імітує блискавку був зрушений на відстані 0,8 м від підвішеного захищеного проводу;
- зарядна напруга ГІН становила 80 кВ на поверх, що в загальній сумі становило близько 1 МВ, що був поданий на електрод.

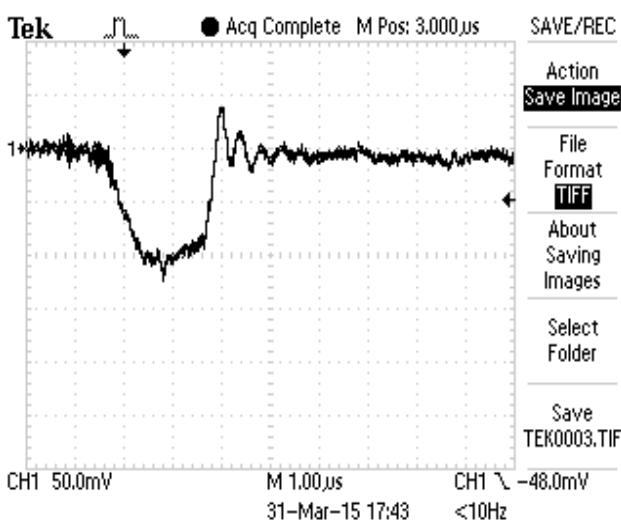
При впливі напруги ГІН на електрод, що імітує блискавку, відбувався пробій повітряного проміжку "електрод - земля". Це призводило до виникнення на проводі індуктованої перенапруги.

Як вказувалося вище, вимірювання такого сигналу проводилися за допомогою ємнісного дільника з ємністю 5 пФ, яка істотно нижче, ніж ємність проводу. Таке співвідношення ємностей дає можливість стверджувати, що дільник не вносить похибки у вимірювання.

В результаті дослідів були отримані осцилограми, вид однієї з яких показано на рис. 3.



а)



б)

Рисунок 3 – Осцилограми напруги:

а) величина наведеної напруги склала близько 20 кВ;

б) форма наведеної на захищеному проводі перенапруги

Аналіз одержаних осцилограм дозволяє більш точно визначити амплітуду великомасштабного викиду струму (пік в нижній частині осцилограми), яка більше ніж в 10 разів перевищує амплітуду струму частоти 50 Гц (сигнал даної частоти знаходиться в розмитих кордонах у верхній частині осцилограми).

Висновки. Таким чином, проведені експериментальні дослідження електромагнітних процесів, що виникають у ПЛЗ при ударах блискавки поблизу ліній, дозволяють зробити наступні висновки:

1. При заданих умовах експерименту форми впливаючого та наведеного імпульсів на проводі не змінюються;

2. При заданих незмінних умовах експерименту величина наведеної на захищеному проводі ПЛ напруги знаходиться в межах 20 кВ.

Список використаних джерел

1. Правила улаштування електроустановок. – 5-те вид., переробл. й доповн. – Х.: Видавництво "Форп", 2014. – 800 с.

2. Юриков А. П. Защита линий электропередач от грозовых перенапряжений / А. П. Юриков - М.: Энергоатомиздат, 1983. – 88с.

3. Подпоркин Г. В. Защита компактных ВЛ 10 кВ от грозовых индуктированных перенапряжений / Г. В. Подпоркин, В. Е. Пильщиков, А. Д. Сиваев // Энерго-инфо. – 2007. – №4. – С. 35-39.

4. Базелян Э. М. Испытания зон защиты типовых молниеотводов методом имитационного физического моделирования / Э. М. Базелян, А. С. Гайворонский, В. С. Сысоев // Труды III Российской конференции по молниезащите. – Санкт-Петербург. – 2012. – С. 384-398.

5. Базелян Э. М. Физика молнии и молниезащиты / Э. М. Базелян, Ю. П. Райзер. – М.: Физматлит, 2001. – 320 с.

6. Техніка і електрофізика високих напруг: навч. посібник / за ред. В. О. Бржезицького, В. М. Михайлова. – Харків: НТУ "ХПІ": Торнадо, 2005. - 930 с.

7. Халилов Ф. Х. Защита сетей 6-35 кВ от перенапряжений / Ф. Х. Халилов, Г. А. Едокунин, В. С. Поляков, Г. В. Подпоркин, А. И. Таджикибаев. – СПб.: Энергоатомиздат, 2002. – 260 с.

8. Базелян Э. М. Инженерные и физические основы молниезащиты / Э.М. Базелян. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 328 с.

Аннотация

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМЫ И ВЕЛИЧИНЫ НАВЕДЕННЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ, ВОЗНИКАЮЩИХ В ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЯХ С ЗАЩИЩЕННЫМИ ПРОВОДАМИ ПРИ УДАРАХ МОЛНИИ

Шевченко С. Ю., Довгалоук О. Н., Пиротти А. Е., Ермоленко Б. Ф., Дривецкий С. И.

Проведены экспериментальные исследования изменения фронта индуктированного перенапряжения по сравнению с исходным импульсом напряжения, а также измерения амплитуды индуцированного на проводе импульса перенапряжений.

Abstract

RESEARCH OF FORM AND MAGNITUDE OF INDUCED SURGES OCCURRING IN OVERHEAD LINES WITH PROTECTED WIRES WHEN LIGHTNING STRIKES

S. Shevchenko, O. Dovgalyuk, A. Pirotti, B. Ermolenko, S. Drivetskiy

Experimental researches of the induced changes in of the front surge compared with the initial voltage pulse and measure the amplitude an induced impulse of overvoltage on the wire.