

ДОСЛІДЖЕННЯ ВРАЖАЄМОСТІ ГРОЗОВИМИ РОЗРЯДАМИ ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ ІЗ ЗАХИЩЕНИМИ ТА НЕІЗОЛЬОВАНИМИ ПРОВОДАМИ

Шевченко С. Ю., Довгалюк О. М., Піротгі О. Є., Єрмоленко Б. Ф., Данильченко Д. О.

Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут"

Експериментальним шляхом визначені на фізичній моделі ймовірності прямого удару блискавки в повітряні лінії із захищеними та неізольованими проводами при різних умовах виникнення блискавки.

Постановка проблеми. Якість забезпечення споживачів електроенергією безпосередньо залежить від надійності роботи розподільчих електричних мереж, які є ключовим ланцюгом в системі електропостачання. Для підвищення ефективності, технічного рівня і безпеки розподільчих мереж необхідно використовувати нові науково обґрунтовані технічні рішення і технології. Однією з основних причин аварій та порушень в розподільчих мережах є грозові перенапруги на повітряних лініях (ПЛ), що викликають імпульсні перебиття, руйнування ізоляторів, що призводять до дугових замикань, супутнім пошкодженням обладнання та відключення ліній. Однак, діючі норми не передбачають будь-якого спеціального захисту від грозових перенапруг ПЛ із неізольованими проводами напругою до 20 кВ, за винятком випадків захисту окремих точок ПЛ з ослабленою ізоляцією або з підвищеними вимогами до надійності.

Такий стан питання грозозахисту розподільчих мереж був наслідком історично сформованого визнання неминучості їх грозових аварійних вимикань і пошкоджень в силу відсутності ефективних та економічно доступних технічних засобів. Однак з початком масового застосування в розподільчих мережах повітряних ліній із захищеними проводами (ПЛЗ) виникла необхідність прийняття обов'язкових технічних заходів щодо їх грозозахисту.

Для розробки ефективних заходів грозозахисту сучасних електричних мереж необхідно враховувати ймовірність вражаємості елементів грозовими розрядами. Таким чином, дослідження ймовірності прямого удару блискавки в ПЛ при різних умовах роботи лінії є важливою задачею для обґрунтування технічних заходів щодо їх грозозахисту.

Аналіз публікацій. Дослідженню питань перенапруг в електричних мережах, розробці заходів щодо захисту мереж приділяється багато уваги вітчизняними та зарубіжними дослідниками [1, 2].

Особливістю проблеми грозозахисту повітряних ліній із захищеними проводами (ПЛЗ) є те, що у разі відсутності спеціальних заходів при грозовому перебитті ізолятора лінії, супроводжуваному пробоем твердої ізоляції проводу, з великою ймовірністю утворюється дуга промислової частоти, що не має можливості переміщатися по проводу (як при неізольованих проводах) і горить в місці пробоем ізоляції до моменту відключення лінії [3, 4]. Це може призвести до псування ізоляції проводу, пошкодження ізолятора лінії і до пережогу проводу, що підтверджується досвідом експлуатації ПЛЗ.

Оскільки на лінії з неізольованими проводами дуга під впливом електродинамічних сил здатна переміщатися одним зі своїх кінців уздовж проводу, фак-

тор пошкодження проводу внаслідок теплового впливу дуги був малозначним і ніяк не впливав на формування концепції грозозахисту ПЛ. У разі ж ПЛЗ запобігання пережогу проводу стає головною умовою, яка визначає необхідність обов'язкового застосування тих чи інших грозозахисних заходів [5].

Мета статті. Визначення експериментальним шляхом на фізичній моделі ймовірності прямого удару блискавки в ПЛ із захищеними та неізольованими проводами при різних умовах виникнення блискавки.

Основні матеріали дослідження. Дослідження та розробка способів і пристроїв, які б запобігали пережогу проводів при впливах перенапруг, на сьогодні є затребуваними в Україні у зв'язку з тим, що технічна політика в галузі електроенергетики передбачає масштабне використання захищених проводів при новому будівництві та реконструкції ПЛ. У зв'язку з цим група фахівців Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут" спільно з фірмою "СІКАМ Україна" виконала дослідження можливості підвищення грозоупорності ліній із захищеними проводами.

Існує гіпотеза, що ймовірність прямого удару блискавки в провід ПЛЗ відсутня. Для перевірки цієї гіпотези були виконані експериментальні дослідження ймовірності удару блискавки в провід ПЛЗ для різних умов.

У лабораторії надвисоких напруг кафедри передачі електричної енергії Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут" була створена модель ПЛ, що дозволяє виконати експерименти для визначення ймовірності прямого удару блискавки в ПЛ з неізольованими або захищеними проводами при різних геометричних параметрах ліній. В якості джерела високої напруги використовувалася генератор імпульсних напруг (ГІН) з максимальною напругою 2,4 МВ.

Одним з основних питань при експериментальних дослідженнях блискавкозахисту різних об'єктів є питання про відповідність умов розвитку розряду в проміжку між хмарою і землею (блискавка) і в лабораторному проміжку.

Однією з таких умов є вибір форми діючої напруги. Раніше для ініціації іскрового розряду в повітряних проміжках використовувалися стандартизовані міжнародною електротехнічною комісією (МЕК) імпульси грозових перенапруг 1,5 / 40 мкс (довжина фронту імпульсу 1,5 мкс, довжина імпульсу – проміжок часу від початку імпульсу до моменту, коли напруга досягає половини максимального значення, – 40 мкс). В даний час форма стандартного імпульсу дещо змінена і становить 1,2 / 50 мкс.

Крім того для блискавки характерний зигзагопо-

дібний канал, обумовлений його ступінчастим розвитком і випадковим напрямком розвитку кожного ступеня при низькій середній розрядній напруженості, становить порядку 15 кВ/м. Для відтворення випадкового характеру напрямку розвитку розряду в лабораторних дослідженнях необхідно отримати більш низьку середню розрядну напруженість, при якій забезпечується ступеневий розвиток іскрового каналу при досить великому відношенні довжини розрядного проміжку до довжини ступеня лідера і відповідно випадковий напрямок шляху розвитку розряду. З цієї точки зору обґрунтовано застосування імпульсу напруги позитивної полярності з пологим фронтом, при якому середня розрядна напруженість у різко неоднорідному полі (типу стрижень-площина) швидко зменшується зі збільшенням довжини проміжку. При негативній полярності середня розрядна напруженість для проміжку стрижень-площина значно більше. Для коротких проміжків (2 - 3 м) розрядна напруженість при негативній полярності напруги (~1000 кВ/м) більш ніж удвічі перевищує розрядну напруженість при позитивній полярності (~400 кВ/м).

Відповідно до методики вибору масштабу моделювання [6] висота орієнтування лабораторної іскри може бути визначена, виходячи з того, що висота орієнтування блискавки при висотах об'єктів ураження до 30 метрів становить $5h_n$ [7]. Тому висота орієнтування лабораторної іскри визначається як

$$h_{mn} = \frac{5h_n}{30} = 1,3 \text{ м,}$$

де h_{mn} – модельна висота підвісу проводу;

h_n – висоти до точки підвісу проводів.

Загальний вигляд моделі показано на рис. 1.

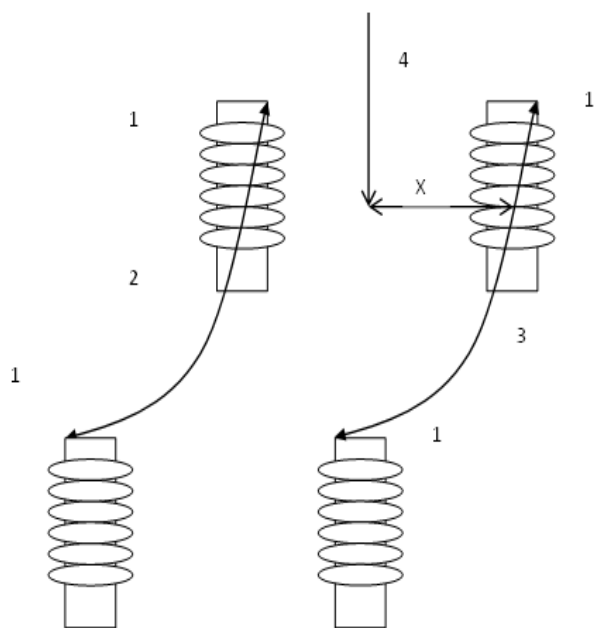


Рисунок 1 – Загальний вигляд моделі:

1 – опорний ізолятор; 2 – неізолюваний провід; 3 – захищений провід; 4 – електрод, що імітує блискавку;

X – відстань від електрода, що імітує блискавку до захищеного проводу

При розташуванні електрода, що імітує блискавку, поза площиною моделі з'являються розряди в землю, що підтверджує правильність вибору параметрів моделі.

У першій серії експериментів було виконано порівняння ймовірності прямого удару блискавки в провід для ліній, на яких одночасно підвищені і захищені, і неізолювані проводи. Параметри моделі мали наступні значення:

- електрод знаходився на висоті 1,3 метра від поверхні "землі";

- на висоті 20 см від поверхні "землі" були підвищені ізолюваний і неізолюваний провід, на відстані 90 см один від одного;

- електрод, що імітує блискавку, встановлювався строго посередині між проводами.

За результатами 100 дослідів всі розряди припали в неізолюваний провід. Такий результат дозволяє зробити висновок про підвищену грозоупорність ПЛЗ.

Друга серія експериментів була виконана на аналогічній моделі ліній, на яких одночасно підвищені і захищені, і неізолювані проводи. Основною відмінністю цієї серії експериментів було те, що електрод, який імітує блискавку, встановлювався на відстані 30 см від захищеного і 60 см від неізолюваного проводу. Таке розташування електрода, що імітує блискавку, дозволяє досліджувати ймовірність прямого удару в провід ліній при виникненні каналу блискавки в довільному місці простору. Параметри моделі мали ті ж значення, що і в першій серії експериментів.

В рамках цієї серії було виконано чотири групи експериментів по 100 дослідів у кожній. Отримані результати виглядають наступним чином:

- у двох серіях експериментів 70 ударів довелось в неізолюваний провід і 30 ударів в захищений;

- в одній 68 ударів в неізолюваний провід і 32 в захищений;

- і в останній 73 в неізолюваний провід і 27 в захищений.

З отриманих результатів видно, що ймовірність прямого удару в захищений провід становить 30% від загальної кількості ударів.

У третій серії експериментів було виконано порівняння ймовірності прямого удару блискавки для ліній, на яких одночасно підвищені і захищені, і неізолювані проводи. Параметри моделі були аналогічні першим двом експериментам, а електрод, що імітує блискавку, встановлювався над захищеним проводом.

В цій серії було виконано 5 груп експериментів по 100 дослідів у кожній. У двох з них ймовірність прямого удару в захищений провід склала 50% від загальної кількості ударів, в наступних серіях ймовірність коливалася в межах 47 - 51%.

У четвертій серії експериментів визначалася ймовірність удару блискавки в захищений провід при рівності відстаней від проводу до електрода, що імітує блискавку, і від вказаного електрода до землі. Висота підвісу електрода і провід були такими ж, що і в попередніх експериментах. Для цієї серії проведено чотири групи експериментів по 100 дослідів кожна. Вірогідність удару в захищений провід змінювалася в межах від 26% до 32% від загальної кількості ударів.

При виконанні п'ятої серії експериментів визначалася вірогідність удару блискавки в неізолюваний

провід при рівності відстаней від проводу до електрода, що імітує блискавку, і від вказаного електрода до землі. Висота підвісу електрода і проводів були такими ж, що і в попередніх експериментах. Ця серія складається з 3 груп експериментів по 100 дослідів у кожній. Вірогідність удару в неізолюваний провід змінювалася в межах від 70% до 72% від загальної кількості ударів.

У процесі проведення експериментів була виявлена відмінна від нуля ймовірність ураження захищеного проводу, що спростовує гіпотезу про неможливість прямого удару в такий провід.

За умови розташування електрода, що імітує блискавку, строго посередині між неізолюваним і захищеним проводами, не було зафіксовано жодного розряду в захищений провід моделі.

У разі зміщення електрода, що імітує блискавку, в сторону захищеного проводу збільшується ймовірність його ураження.

Якщо електрод, що імітує блискавку, розташований ближче до захищеного проводу, ніж до неізолюваного (в досліді відстань від неізолюваного проводу до осі електрода становила 70% від загальної), захищений провід вражався з ймовірністю 30%.

Найважчим випадком, з точки зору вражаємості проводу був випадок розташування електрода, що імітує блискавку, над захищеним проводом. Захищений провід вражався з ймовірністю 50%.

При розташуванні електрода, що імітує блискавку, на рівних відстанях від захищеного проводу і електрода, що імітує блискавку, ймовірність ураження проводу приблизно дорівнює 30%, а при такій же конфігурації моделі для неізолюваного проводу ймовірність його ураження дорівнює 70%.

Такі результати дають можливість припустити, що захищені проводи будуть вражатися прямим ударом блискавки в два рази рідше, ніж неізолювані. Це дозволить істотно збільшити розрахункову грозоупорність ПЛЗ.

На основі отриманих експериментальних даних можна зробити висновок, що зона захоплення блискавки захищеним проводом в 3 рази менше зону захоплення блискавки неізолюваним проводом. Цей факт ілюструє істотне зниження розрахункової площі, з якої вірогідні прямі удари блискавки в ПЛЗ.

Зазначена площа, на ряду з кількістю грозових годин і протяжністю лінії, використовується при розрахунках числа прямих ударів блискавки в лінію $N_{\text{пуб}}$. Її зниження призводить до пропорційного зменшення розрахункового $N_{\text{пуб}}$ і, відповідно, до збільшення грозоупорності ПЛЗ.

Висновки. Таким чином, проведені на фізичній моделі експериментальні дослідження ймовірності прямого удару блискавки в ПЛ із захищеними і неізолюваними проводами при різних умовах виникнення блискавки дозволяють зробити наступні висновки:

1. Результати експериментів дозволили спростувати гіпотезу про відсутність прямих ударів блискавки в захищені проводи повітряних ліній.

2. Проведені дослідження дозволяють припустити, що блискавковражаємість ПЛЗ істотно нижче блискавковражаємості ліній традиційного виконання.

3. Отримані результати вказують на необхідність проведення подальших досліджень блискавковражаємості ПЛЗ.

Список використаних джерел

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

2. 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.

3. Подпоркин Г. В. Современная грозозащита распределительных воздушных линий 6, 10 кВ длинно-искровыми разрядниками / Г. В. Подпоркин, А. Д. Сиваев // Электро. – 2006. – №1. – С. 15-19.

4. Подпоркин Г. В. Система защиты ВЛ 35 кВ с защищенными проводами от грозовых перенапряжений и их пережога / Г. В. Подпоркин, Е. С. Калакутский // Энергетик. – 2006. – №10. – С. 19-22.

5. 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.

6. Александров Г. Н. Исследование грозопоражаемости воздушных линий на крупномасштабных моделях / Г. Н. Александров, Г. В. Подпоркин, Ю. И. Лысков, С. Ю. Шевченко // Электричество. – 1991. – №1. – С. 33-36.

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

Аннотация

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОРАЖАЕМОСТИ ГРОЗОВЫМИ РАЗРЯДАМИ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ С ЗАЩИЩЕННЫМИ И НЕИЗОЛИРОВАННЫМИ ПРОВОДАМИ

Шевченко С. Ю., Довгалюк О. Н., Пиротти А. Е., Ермоленко Б. Ф., Данильченко Д. А.

Экспериментальным путем определены на физической модели вероятности прямого удара молнии в воздушные линии с защищенными и неизолированными проводами при разных условиях возникновения молнии.

Abstract

THE RESEARCH OF DEFEAT OVERHEAD LINES WITH PROTECTED AND BARE WIRES FROM LIGHTNING STRIKE

S. Shevchenko, O. Dovgalyuk, A. Pirotti, B. Ermolenko, D. Danylchenko

Experimentally determined on the basis physical model the probability of direct lightning strikes in overhead lines with protected and bare wires under different conditions of occurrence of lightning.