

РЕФЕРАТ

роботи «Удосконалення методів розрахунку грозостійкості повітряних ліній з захищеними проводами», що подана Данильченко Дмитром Олексійовичем, Дривецьким Станіславом Ігоровичем, Штангеєм Ігорем Олександровичем на здобуття премії Президента України для молодих вчених

Актуальність теми. Якість забезпечення споживачів електроенергією безпосередньо залежить від надійності роботи розподільних електричних мереж, які є ключовою ланкою в системі електропостачання. Для підвищення ефективності, технічного рівня і безпеки розподільних мереж необхідно використання науково обґрунтованих технічних рішень і технологій у питаннях передачі електричної енергії повітряними лініями електропередавання. У промислово розвинених країнах на повітряних лініях середніх класів напруг 6 - 69 кВ широко застосовуються захищені проводи (ПЛЗ), які мають суттєві переваги перед лініями з неізолюваними проводами. З початком масового застосування на розподільних ПЛ 6-35кВ захищених проводів виникла необхідність прийняття обов'язкових технічних заходів по їх блискавкозахисту. Особливістю проблеми блискавкозахисту ПЛЗ є те, що для мережі 6-35 кВ однофазне замикання на землю не є аварійною ситуацією та не підлягає обов'язковому відключенню. В разі відсутності спеціальних заходів, при дуговому перекритті ізолятора лінії, супроводжуваному пробоем твердої ізоляції проводу, дуга промислової частоти, що утворюється, не має можливості переміщатися вздовж проводу (як при неізолюваних проводах) і горить в місці пробоем ізоляції до моменту відключення лінії або до погасання під дією інших чинників. Час горіння електричної дуги на ПЛ середніх класів напруги буває досить довгим. Це може призвести до псування ізоляції проводу, пошкодження ізолятора лінії і до перегорання проводу, що підтверджується досвідом експлуатації ліній з захищеними проводами. Оскільки на лінії з неізолюваними 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 блискавкозахисту ПЛ. У разі ж ПЛЗ запобігання перегоранню проводу стає основним чинником, що визначає необхідність обов'язкового застосування тих чи інших блискавкозахисних заходів. Отже, дослідження та розробка нових і вдосконалення відомих методів блискавкозахисту ліній з захищеними проводами є актуальною науково-прикладною задачею, що повинна вирішуватись шляхом проведення наукових досліджень та експериментів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Роботу виконано на кафедрах «Передача електричної енергії» НТУ «ХП» у відповідності до госпдоговірної теми та держбюджетної НДР МОН: «Розробка рекомендацій щодо захисту від перенапруг повітряних захищених електричних ліній 6-35 кВ» (№ ДР 0114U003936) та «Підвищення енергетичної безпеки та надійності системи електропостачання споживачів високої та надвисокої напруги військово-оборонного та промислового комплексу України» (№ДР 0118U003597).

Мета роботи. Мета дослідження полягає у підвищенні надійності захисту повітряних ліній електропередавання середніх класів напруги з захищеними проводами від атмосферних перенапруг.

Наукова новизна.

1) Удосконалено метод моделювання об'єктів для дослідження блискавкозахисту, який відрізняється від існуючих тим, що коефіцієнт моделювання розраховано за допомогою висоти орієнтування блискавки, це дозволило спростити побудову експериментальної моделі для досліджень ураження блискавкою об'єктів.

2) Отримав подальший розвиток метод розрахунку кількості прямих ударів блискавки для визначення блискавкостійкості повітряних ліній середніх класів напруги, який відрізняється від відомих врахуванням конструкції використаних проводів, що дозволяє підвищити точність виконання розрахунків.

3) Отримала подальший розвиток математична модель для розрахунку кількості прямих ударів блискавки, яка відрізняється від відомих тим, що її параметри визначаються на основі методу нечіткого виводу Мамдані, це дає можливість врахувати варіаційну складову вихідних даних.

4) Вперше запропоновано метод блискавкозахисту повітряних ліній з захищеними проводами, який використовує неізолюваний фазний провід для захисту від прямих уражень блискавкою, що дозволить практично виключити прямі удари блискавки у захищені проводи.

5) Науково обґрунтована та експериментально підтверджена незмінність форми імпульсу блискавки, який впливає на ізоляцію ПЛ із захищеними проводами та має назву індукованих перенапруг, що дозволило визначити кількість захисних апаратів необхідну для захисту ПЛ.

6) Науково та експериментально визначена електрична міцність ізоляції системи захищений провід-ізолятор, що дозволить підвищити точність розрахунків грозостійкості ПЛ.

7) Вперше отримано метод визначення грозостійкості ПЛ із захищеними проводами, який урахує електричну міцність ізоляції системи захищений провід-ізолятор, що дозволить підвищити точність розрахунків.

8) Отримав подальший розвиток метод визначення кількості небезпечних впливів на ізолятор ПЛ, який відрізняється від існуючих уточненням кількості впливів індукованих перенапруг за рахунок урахування величини електричної міцності системи захищений провід-ізолятор, що дозволяє на етапі проектування підвищити точність розрахунків.

Практична значимість.

Для електроенергетичної галузі України практична значимість полягає в тому, що на підставі виконаних досліджень визначені способи підвищення ефективності функціонування електричних мереж шляхом вдосконалення методики розрахунку зони захоплення блискавки повітряними лініями середніх класів напруги з урахуванням типу проводу. Такий підхід дозволить розраховувати кількість прямих ударів блискавки у повітряні лінії з неізолюваними та захищеними проводами на етапі проектування повітряних ліній. Окрім того, результати досліджень допоможуть більш коректно підійти до питання вибору захисного обладнання та дозволить розрахувати сумарну кількість грозових відключень ліній електропередавання напругою 35 кВ. Запропоноване конструктивне виконання ПЛ з використанням, у якості засобу захисту від блискавки, фазного неізолюваного проводу дозволить суттєво підвищити експлуатаційну надійність ПЛЗ при збереженні всіх її переваг.

Результати роботи були впроваджені: - у АК «Харківобленерго» для розрахунку зони захоплення блискавки повітряними лініями середніх класів напруги з урахуванням типу проводу, що дозволило більш точно визначати кількість прямих ударів блискавки у повітряні лінії; - у навчальному процесі кафедри передачі електричної енергії Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» для студентів спеціальностей 141 спеціальності за спеціалізаціями: 141-02 «Електричні системи та мережі» під час викладання курсів лекцій з дисциплін «Техніка та електрофізика високих напруг», «Системоутворюючі мережі та їх режими», «Проектування електроенергетичних і електромеханічних систем та пристроїв», «Сучасні методи і засоби блискавкозахисту», під час написання курсових та дипломних проектів, випускних кваліфікаційних робіт.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі наведено загальну характеристику роботи, обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету і задачі, визначено об'єкт, предмет і методи дослідження, наукову новизну і практичне значення роботи.

У першому розділі проведено аналіз науково-технічної інформації про стан та проблеми блискавкозахисту ПЛЗ. Розглянуто переваги застосування захищених проводів в електричних мережах та досвід їх експлуатації в Україні та світі. Показано їх недоліки у блискавкозахисті та наслідки, до яких це може призвести. Розглянуто грозові перенапруги на повітряних лініях електропередавання і захист від них. Проаналізовано завдання і критерії блискавкозахисту ПЛ. Наведено параметри грозових розрядів та статистика розподілу їх за величиною струму та напруги. Детально розглянуто виникнення блискавки, її види та зосереджено увагу на виникненні і розвитку лінійної блискавки.

Проаналізовано особливості блискавкозахисту ПЛ середніх класів напруги та наведено ряд особливостей, що створюють більш сприятливі умови для їх блискавкозахисту. Розглянуто умови, при яких захист ПЛ необхідний. Наведено захисні апарати, які використовуються для блискавкозахисту ПЛ середніх класів напруги та місця їх установки. Зроблено висновок про основні переваги використання ПЛЗ, необхідність блискавкозахисту ПЛЗ, особливості блискавкоураженості ПЛ та засоби захисту від перенапруг.

У другому розділі розглянуто методи проведення експериментальних досліджень.

Досліджено уражуваність ПЛ з урахування висоти орієнтування блискавки. Визначено, що процес орієнтування блискавки починається не з моменту виникнення низхідного лідера, а лише після того, як його канал просунеться на деяку відстань в глибину проміжку, а головка каналу досягне рівня, званого висотою орієнтування (H_0). Тому в розрахунок ймовірності орієнтування необхідно ввести не від відстані до високовольного електрода, а відстані від заземленого електрода і площини до головки каналу низхідного лідера на рівні висоти орієнтування.

У багатьох країнах для визначення захисних властивостей блискавковідводів використовується «електрогеометрична модель», метод був розроблений і запропонований дослідним комітетом № 33 СІГРЕ в 1975 р.

В основу методу покладено припущення, що при наближення лідерного каналу від наземного об'єкта починає розвиватися зустрічний канал розряду, що й

зумовлює удар блискавки в об'єкт. Найкоротша відстань між головкою лідера і точкою удару в момент початку розвитку зустрічного розряду тим більше, чим більше напруга між головкою лідера і заземленим об'єктом, а значить, більше заряд лідера і вище максимальне значення струму блискавки, що проходить через уражений об'єкт. Висота орієнтування залежить від струму блискавки в першому компоненті удару і визначається за емпіричною формулою

$$H_0 = 2 I_6 + 30 (1 - e^{-I_6/6,8}), \quad (1)$$

де H_0 - висотою орієнтування блискавки в м; I_6 - струм блискавки в кА.

Була розглянута існуюча методика розрахунку ураженості ПЛ блискавкою. Вона визначає ймовірності перекриття елементарних проміжків, утворених головкою каналу блискавки на рівні висоти орієнтування H_0 , об'єкта що захищається, висотою h , та поверхнею землі. При цьому враховується, що внаслідок статистичного розкиду електричної міцності з певною ймовірністю може бути перекритий будь-який з проміжків, а не тільки найкоротший.

Для проведення експериментальних досліджень ураженості ПЛ та ПЛЗ прямими ударами блискавки, було обрано методику проведення повнофакторного експерименту, який дозволяє визначити залежність досліджуваного параметру від факторів, що впливають на процес ураження об'єкта прямим ударом блискавки, на основі регресійного аналізу.

Визначені фактори, та вимоги що до них пред'являються при плануванні експерименту. На основі методики було вирішено, що у загальному випадку експеримент, в якому реалізуються всі можливі поєднання рівнів факторів, називається повним факторним експериментом. Якщо число рівнів кожного фактора дорівнює двом, то маємо повний факторний експеримент типу 2^k .

Для побудови експериментальної моделі було отримано критерії подібності на основі другої теореми подібності. Для отримання критеріїв подібності був використаний метод аналізу розмірностей на підставі опису фізичного процесу.

Розглянуто фактори, що впливають на ураженість ПЛ, до яких можна віднести чинники блискавки і конструктивні особливості ПЛ, а саме: струм блискавки (I_6), крутизну фронту блискавки (α), висоту орієнтування блискавки (H_{op}), відстань між крайніми проводами на ПЛ (D), висоту підвісу проводів ($H_{під}$), заряд на лінії (q) та висоти підвищення проводів один над одним (h).

Для експериментальних досліджень було побудовано експериментальну модель для дослідження ураження блискавкою ПЛ з захищеними і неізолюваними проводами.

Розглянуті методи обробки експериментальних даних. На основі методу найменших квадратів.

Для проведення експериментальних досліджень електричної міцності ізоляції, випробування якої зі статистичною оцінкою результатів можливо застосовувати тільки в тих випадках, коли розряди в ізоляції не викликають змін в стані випробуваного об'єкта, тобто коли результати кожної програми напруги є незалежними від попередніх. Основним завданням статистичної оцінки результатів випробування ізоляції є визначення витримування напруги з нормованою довірчою ймовірністю і порівняння цієї напруги з нормованою.

Для експериментів використовувався метод «вгору - вниз», який передбачає прикладання до об'єкта однакових за формою і різних для кожного з наступних випробувань за значенням напруг в залежності від результату попереднього досліду. Його застосовують, головним чином в тих випадках, коли значення стандартного відхилення унормовано і потрібно визначити тільки 50% -у розрядну напругу.

У третьому розділі проведені експериментальні дослідження блискавкоураженості ПЛ та ПЛЗ. Для підтвердження адекватності побудованої моделі було експериментально перевірено блискавкоураженість ПЛ на моделі лінії 110 кВ. Результати експериментальних досліджень співпадають з результатами розрахунків та досвідом експлуатації, що свідчить про адекватність створеної моделі.

Проведені експериментальні дослідження по ураженості ПЛ і ПЛЗ середніх класів напруги. На першому етапі досліджень було проведено 5 серій експериментів.

На другому етапі було проведено експериментальні дослідження по визначенню зони захоплення прямого удару блискавки в ПЛ та ПЛЗ.

Для проведення експериментальних досліджень, згідно з теорією планування експерименту побудуємо матрицю експерименту, з урахуванням факторів, що впливають на процес ураження повітряної лінії прямим ударом блискавки. До основних факторів відносяться струм блискавки (I_6), напруга на лінії (U), та тип проводу (захищений чи неізолюваний). На геометричні параметри експериментальної моделі тип проводу впливу не має.

Для проведення експериментів було обрано вихідні параметри які відповідають основним принципам моделювання та не ускладнюють проведення експериментів. Отримані результати представлені в табл. 1.

Таблиця 1 - Модельні результати експериментальних досліджень

Висота підвісу проводу, $H_{\text{під}}$, м	Відстань, з якої провід приймає прямі удари блискавки, X , м	
	СПП 3 1*50-20	АС – 50/8
0,2	0,25	0,37
0,35	0,425	0,62
0,13	0,17	0,245
0,22	0,27	0,4

Результати експериментів показали, що для ліній з захищеними проводами зона захоплення в півтора рази менше ніж зона захоплення неізолюваного проводу. З отриманих результатів видно що, для неізолюваного проводу зона захоплення становить не $3 H_{\text{під}}$, а $2 H_{\text{під}}$. Це свідчить про те, що методи розрахунку згідно нормативних документів не відповідають дійсності, для ліній середнього класу напруги.

З табл. 1, видно, що зона захоплення проводом СПП - 3 1* 50-20 майже в 2 рази менше зони захоплення неізолюваного проводу і не багато перевищує висоту підвісу лінії, таким чином можна говорити, що зона захоплення

захищеного проводу дорівнює $N_{\text{під}}$. Даний факт показує, що $N_{\text{пуб}}$ для ПЛЗ значно менше, ніж для ПЛ.

Проведені експериментальні дослідження форми та величини індукованих перенапруг. За результатами експериментальних досліджень було встановлено, що фронт хвилі сильно не змінився, що дозволяє зробити висновок про практично повний збіг фронтів наведеного та подає мого імпульсів напруги.

Отримані осцилограми показали, що форма поданого і наведеного імпульсів напруги, не змінилася. Величина наведеної напруги при описаних параметрах моделі виявилася рівною 20кВ, що свідчить про досить високий ступінь зв'язку проводу і каналу імпульсного розряду.

Для обчислення розрахунків грозоупорності ПЛЗ необхідно отримати залежність ймовірності виникнення наведених перенапруг, що мають величини небезпечні для ізоляції подібних ліній.

Використовуючи отримані результати зон захоплення для різних типів проводів (табл. 1) були проведені дослідження величини наведених перенапруг.

Подальшими дослідженнями, були пов'язані з знаходженням 50%-ої перенапруги, що виникала при пробі системи «провід-ізолятор». Використовуючи метод «вгору-вниз», який передбачає прикладання до об'єкта однакових за формою і різних для кожного з наступних дослідів за значенням напруг в залежності від результату попереднього прикладання.

В ході проведення експерименту було проведено 3 серії по 30 випробувань на системі «провід-ізолятор».

Один з кінців досліджуемого проводу був ізольований для виключення краєвого ефекту, інший – підключений до дільника напруги 1200кВ з виходом на цифровий осцилограф.

Під час проведення експериментів виникла проблема обумовлена тим, що при пробі ізоляції необхідно замінити досліджуемий провід. Слід зазначити, що ізоляційне покриття проводів є неоднорідним, тому необхідно було провести декілька серій експериментів.

Використавши розрахункові формули ми знайшли значення 50%-ої розрядної перенапруги системи «провід – ізолятор», яке дорівнювало 235 кВ.

Визначили величину 50%-ої розрядної перенапруги досліджуемого проводу. Знаючи імпульсну перенапругу (100 кВ), що витримує ізолятор ШФ-10Г, який був обраний для дослідження, можна вирахувати напругу витримувану нашим проводом СІП 3 1*50-20, яка дорівнює 135 кВ. Отримані результати дають можливість стверджувати, що електрична міцність покриття проводу становить приблизно 40 кВ/мм.

Отримані результати дозволяють уточнити розрахунки грозостійкості повітряних ліній електропередавання на етапі проектування.

У четвертому розділі проведений регресійний аналіз отриманих результатів для отримання математичної моделі результатів експерименту. Під час регресійного аналізу підтверджена гіпотеза про однорідність дисперсії, та отримані результати розрахунку коефіцієнтів на основі експериментальних даних. де, y – вірогідність ураження лінії прямим ударом блискавки; x_1 – висота підвісу проводу; x_2 – тип проводу; x_3 – відстань від осі блискавки до проводу.

Виконана перевірка адекватності моделі та перевірка значимості коефіцієнтів. Отриманий вираз дозволяє розрахувати вірогідність ураження ПЛ

та ПЛЗ прямим ударом блискавки при різних конструктивних виконаннях ліній та властивостей блискавки. Використання такого виразу дозволить уточнити метод визначення блискавкостійкості ПЛЗ та ПЛ на етапі проектування.

У розділі проведено аналіз результатів експериментальних досліджень за допомогою методів нечіткого виводу Мамдані. За результатами аналізу було отримано 4 поверхні відгуку, де були задані тип проводу та клас напруги лінії, а струм блискавки та зона захоплення варіювалися.

Моделювання за допомогою нечіткого виводу Мамдані дозволило врахувати варіаційну складову струму блискавки, що дозволило побудувати поверхні відгуку нечіткої системи і побачити вірогідності ураження ПЛ, з урахуванням типу проводу, та класу напруги лінії електропередавання.

Розглянута методика розрахунку кількості прямих ударів блискавки у повітряні лінії електропередавання. Згідно нормативних документів кількість прямих ударів блискавки в повітряні лінії з неізолюваними і захищеними проводами розраховується однаково.

Як видно з формули використовується вираз ($6H_{\text{під}}$), який означає, що захоплення відбувається з двох сторін від лінії, з зоною захоплення в $3H_{\text{під}}$. В даному випадку не враховується клас напруги лінії. Проте в літературі наведені графіки з яких видно, що зона захоплення становить від $2H_{\text{під}}$ до $5H_{\text{під}}$ для ПЛ з неізолюваними проводами, в залежності від висоти підвісу проводів.

Відповідно до результатів експериментів, кількість прямих ударів блискавки суттєво залежить від значення зони захоплення блискавки.

Згідно з експериментальними даними, отриманими на великогабаритних моделях, зона захоплення для неізолюваних та захищених проводів суттєво відрізняється. Відповідно, буде відрізнятися і кількість прямих ударів блискавки.

Проведені розрахунки кількості прямих ударів блискавки в ПЛ показали відмінність, в залежності від методики розрахунку.

Для розрахунку грозоупорності ПЛ використовується розподіл струмів блискавки, отриманий по реєстраціях на ПЛ.

Проведено аналіз сумарної кількості грозових відключень лінії 35 кВ з неізолюваними проводами.

$$n_{\Sigma} = n_{\text{пуб}} + n_{\text{інд}} = 6,7 + 0,4 = 7,1 \text{ вікдл/рік.}$$

Аналогічний розрахунок проводився для лінії 35 кВ з захищеними проводами.

$$n_{\Sigma} = n_{\text{пуб}} + n_{\text{інд}} = 4,3 + 0,2 = 4,5 \text{ вікдл/рік.}$$

Отримані залежності напруги на ізоляторі незахищеному розрядником фази від відстані між проводами при різних значеннях індукованої перенапруги, для різних значень опору заземлення опори, для різних класів напруги, при різному хвильовому опорі.

У п'ятому розділі приведено класифікацію засобів захисту від перенапруг. Проаналізовані основні засоби захисту, їх переваги та недоліки, особливу увагу приділено обмежувачам перенапруг нелінійним (ОПН).

Досліджено особливості блискавкозахисту ліній з захищеними проводами. Розглянуто конструкцію захищених проводів та вплив перенапруги на ці проводи. Проаналізовано світовий досвід у питаннях блискавкозахисту ПЛЗ, а саме за допомогою масивних затискачів (американську систему), за допомогою «рогів» (фінська система) та за допомогою ОПН (японська система). Розглянута можливість блискавкозахисту за допомогою довго-іскрових розрядників.

Створено комбіновану лінію електропередавання. Оскільки всі методи захисту ПЛ від грозових перенапруг передбачають встановлення додаткового обладнання, наявність якого призводить до зниження експлуатаційної надійності ПЛ за рахунок збільшення кількості елементів, які можуть вийти з ладу. Також встановлення захисних пристроїв вимагає додаткових фінансових витрат та експлуатаційних затрат. Окрім того слід зазначити, що, як правило, блискавка вражає одну фазу ПЛ. Режим роботи ПЛ середніх класів напруги передбачає ізолювану чи компенсовану нейтраль. В такому випадку однофазне замикання на землю не визначається нормативними документами як аварійна ситуація. Цей факт, а також суттєве зменшення відстаней між фазами ПЛЗ, нормоване ПУЕ, дає можливість розглядати інший спосіб захисту від блискавки чим встановлення захисних апаратів.

Для більш ефективної та економічної експлуатації ПЛ з захищеними проводами пропонуємо використовувати особливість ліній середніх класів напруги, а саме наявність на цих лініях ізолюваної нейтралі. На ПЛ середніх класів напруги прямий удар блискавки призведе до перекриття ізоляції лінії та однофазного замикання на землю зі 100% вірогідністю, через малу імпульсну міцність ізоляції ПЛ. Дуга, що виникає між проводом і землею для таких класів напруги має властивість гаснути за рахунок зовнішніх факторів.

Проведені експериментальні дослідження ураженості ПЛ та ПЛЗ на великогабаритних моделях показали відмінності в ураженні неізолюваного та захищеного проводів. За результатами експериментів було визначено, що неізолюваний провід уражується з більшою вірогідністю, ніж захищений.

Подібні результати призводять до створення лінії, що має в своїй конструкції як захищені, так і неізолюваний провід. Це обумовлено тим, що зона захоплення неізолюваного проводу більше зони захоплення захищеного проводу, що призведе до суттєвого перерозподілу ударів блискавки в неізолюваний провід. Цей факт було підтверджено експериментальними дослідженнями, що дає можливість розробити систему блискавкозахисту ПЛЗ за допомогою використання одного неізолюваного проводу в якості фазного провідника. При такій конструкції ПЛЗ можливо передбачити, що удари блискавки, переважно, будуть в неізолюваний провід. Оскільки, в основному, дроти на опорі розташовуються в трикутнику, середня фаза вище крайніх, то неізолюваним проводом рекомендуємо виконати саме її, а крайні фази виконати захищеними проводами, що дозволить запобігти ураженню захищених проводів прямими ударами блискавки та перегорання їх за рахунок наявності електричної дуги. Ця обставина дає можливість суттєво підвищити експлуатаційні характеристики та безпеку такої лінії. Запропонований варіант розташування проводів на опорі показаний на рис. 1.

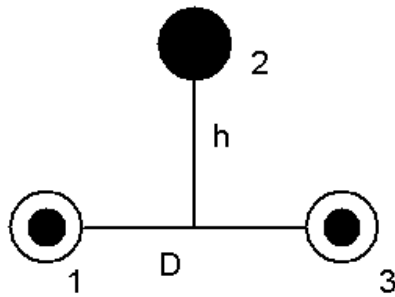


Рисунок 1 - Схема розташування проводів комбінованої лінії електропередавання: 1 - захищений провід, 2 - неізолюваний провід, 3 - захищений провід, h - перевищення середнього проводу над крайніми, D - відстань між крайніми проводами.

Для підтвердження можливості використання фазного неізолюваного проводу в якості блискавозахисного пристрою у великому високовольтному залі Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» була створена експериментальна модель комбінованої лінії електропередавання з урахуванням критеріїв подібності, отриманих у 2 розділі.

Для побудови моделі було обрано такі параметри:

- струм блискавки дорівнює 10 кА;
- напруга лінії - 6 кВ.

Було проведено дослідження блискавкоураженості комбінованої лінії з урахуванням зміни h і D .

Для проведення експериментальних досліджень була створена матриця експерименту.

Виконано 8 серій експериментів, по 100 дослідів у кожній серії. При наближенні лідерного каналу блискавки до неізолюваного проводу на його поверхні збирається заряд протилежного знаку ніж у блискавки, що сприяє іонізації повітря в напрямку каналу лідера та полегшення умов розвитку зустрічного розряду від проводу до лідера, у випадку ж захищеного проводу, за наявності заряду наведеного блискавкою такої ж величини процес іонізації та розвиток зустрічного лідера практично неможливий, що обумовлено наявністю захисного покриття та ускладнення процесів іонізації.

Виконані експериментальні дослідження комбінованої лінії довели високу ефективність захисту захищених проводів від перегорання за допомогою використання неізолюваного фазного проводу в якості блискавоприймача. Таким чином вдалося виправити основний недолік ПЛЗ з точки зору блискавозахисту, а саме можливе перегорання захищених проводів внаслідок прямого удару блискавки в них. Цей факт дає можливість стверджувати, що комбінована лінія, при збереженні усіх переваг ПЛЗ буде мати таку ж блискавкостійкість, як і ПЛ.

Основні науково технічні результати

Конкурсна робота є закінченою науковою працею, у якій на підставі отриманих результатів проведених досліджень було вирішено актуальну науково-прикладну задачу підвищення надійності блискавозахисту повітряних ліній

електропередавання із захищеними проводами середніх класів напруги, на основі врахування уточнених значень відключення ПЛ в залежності від кількості уражень прямими ударами блискавки та індукованими перенапругами, в результаті чого отримано наступні науково-практичні результати і висновки:

- на основі дослідження літературних джерел виконано аналіз методів та засобів захисту ліній електропередавання від атмосферних перенапруг в Україні та світі;

- визначено основні параметри, що впливають на ураження блискавкою повітряних ліній середніх класів напруги та розроблено принципи моделювання процесу уражуваності ПЛ прямими ударами блискавки та індуктованими перенапругами на великомасштабних моделях;

- розроблена експериментальна модель для дослідження уражуваності прямими ударами блискавки повітряних ліній з захищеними та неізолюваними проводами;

- проведена перевірка адекватності обраної експериментальної моделі для дослідження уражуваності прямими ударами блискавки повітряних ліній з захищеними та неізолюваними проводами

- розроблено план повнофакторного експерименту для дослідження уражуваності прямими ударами блискавки повітряних ліній з захищеними та неізолюваними проводами;

- проведено експериментальні дослідження уражуваності атмосферними перенапругами повітряних ліній з захищеними та неізолюваними проводами;

- на базі отриманих результатів експериментальних досліджень, уточнено метод розрахунку кількості уражень повітряних ліній прямими ударами блискавки, що враховує тип використаних проводів;

- розроблено новий метод захисту захищених проводів від прямих ударів блискавки, комбіновану лінію електропередавання, який базується на особливостях ліній з ізолюваною нейтраллю;

Результати конкурсної роботи було впроваджено у АК «Харківобленерго» та у навчальний процес в НТУ «ХП».

Загальна кількість публікацій: 92 (з них за темою наукової праці - 39). Згідно бази даних Scopus загальна кількість посилань на публікації авторів, представлені в роботі, складає 9, h-індекс (за роботою) = 2; згідно бази даних Google Scholar загальна кількість посилань - складає 19, h-індекс (за роботою) = 3.

Здобувачі

Дмитро ДАНИЛЬЧЕНКО

Станіслав ДРИВЕЦЬКИЙ

Ігор ШТАНГЕЙ

Вчений секретар НТУ «ХП»

Олександр ЗАКОВОРОТНИЙ