

В. В. Кучанський¹
Є. О. Зайцев^{1, 2}
О. М. Коваленко²

АНАЛІЗ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ОЦІНОК ВТРАТ ПОТУЖНОСТІ НА КОРОНУВАННЯ ПОВІТРЯНИХ МІЖСИСТЕМНИХ ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАВАННЯ

¹Інститут електродинаміки НАН України, Київ;

²Центр інформаційно-аналітичного та технічного забезпечення моніторингу об'єктів атомної енергетики НАН України, Київ

Інтерес до вивчення коронування пов'язаний з втратами енергії під час коронування ліній електропередавання. Так, втрати енергії у разі коронування проводів ліній електропередавання надвисокої напруги в погану погоду становлять дуже значну величину. Описано спосіб вимірювання втрат потужності на корону. Основне завдання якого можна розділити на дві частини: визначення повних зарядів кожної із трьох фаз ЛЕП та безпосереднє вимірювання втрати потужності. Основу першої задачі становить застосування антен і подальше розв'язання системи рівнянь. Справедливість описаного методу експериментально обґрунтовано у лабораторних умовах. Для цієї мети змонтовано лабораторну модель трифазної лінії довжиною $l = 14,5$ м з висотою підвісу проводів над площиною $H = 2$ м і відстанню між фазами $D = 1,3$ м, при цьому використовувалися сталеві дроти діаметром 1 мм. Під кожною фазою лінії на висоті $h = 0,27$ м встановлено антени — мідні дроти тієї ж довжини, що й на лінії. Антени заземлялися за допомогою конденсаторів, з яких напруги подавалися на осцилограф і візуалізувалися. Усі три напруги, пропорційні зарядам відповідних антен, що подавалися за чергою на осцилограф і проводилася фотофіксація одного кадру. Спеціальний синхронізуючий пристрій дозволяв отримати на кожній осцилограмі три криві, суміщені за часом. Криві зарядів та вольт-кулонові характеристики побудовано за умов зміни фазових напруг, аж до величин, що перевищують початкову напругу корони більше ніж 3 рази. Таким чином, отримано дані про втрати потужності на корону на дротах дослідної лабораторної лінії у широкому діапазоні напруг. Детальне експериментальне дослідження антенного методу вимірювання втрат потужності на корону виконано у лабораторії на дослідній лінії, де умови близькі до умов діючих реальних міжсистемних ліній електропередавання. Ці дослідження підтвердили висновки, отримані на підставі лабораторних дослідів. Експериментальне дослідження повністю підтвердило можливість вимірювання втрат потужності на корону на міжсистемних лініях електропередавання за допомогою антен.

Ключові слова: коронування, втрати потужності на коронування, напруженість електричного поля, антена, вольт-кулонова характеристика.

Вступ

Підвищення пропускної здатності та рівня напруг високовольтних повітряних ліній (ПЛ) електропередавання змінного струму зумовлено необхідністю забезпечення потреб в електроенергії як промислових об'єктів так, і побутових споживачів. У зв'язку з чим з кожним роком зростає актуальність підвищення точності та достовірності врахування втрат електроенергії під час передавання її від виробника до споживача. Одним з видів втрат є втрати потужності на коронний розряд (ВК) на міжсистемних лініях електропередавання. Цей вид втрат істотно впливає на вибір конструкцій фаз ПЛ високої напруги під час проектування. Оцінка ВК використовується під час розрахунків

сумарних втрат електроенергії в мережах в процесі їхньої експлуатації. Для вибору оптимальних конструкцій фаз міжсистемних ліній електропередавання (330 кВ і вище) порівнюються кілька їхніх варіантів, для яких:

- за заданої потужності, що передається, порівнюється декілька конструкцій фаз ПЛ з різними густинами струму;
- відбираються ті конструкції, у яких рівень радіоперешкод не перевищує максимально допустимий встановлений рівень;
- забезпечується механічна та електрична надійність кожної конструкції;
- проводиться оцінка конструкцій з погляду екологічних впливів на довкілля (електромагнітні поля, акустичні шуми);
- розраховуються середньорічні питомі втрати на нагрівання проводів ПЛ і ВК відповідно до потужності, яка передається з урахуванням особливостей траси проходження ПЛ.

У цьому разі вибір оптимальної конструкції фази зводиться до пошуку такої сукупності параметрів фази (марка проводу, кількість проводів у фазі, крок розщеплення), яка за заданої потужності передавання забезпечує мінімум витрат, пов'язаних зі спорудженням і експлуатацією ПЛ в цілому [1]—[6]. Незважаючи на це в ПЛ виникають ВК, які головним чином залежать від напруженості електричного поля навколо проводу, його діаметра, стану поверхні, метеорологічних умов, а також мають значний розкид параметрів електромагнітних полів зумовлених різними, як метеорологічними, так і експлуатаційними факторами.

На тепер методи виявлення коронного розряду на високовольтних лініях електропередавання включають: метод візуального спостереження, інфрачервону тепловізійну технологію та ультрафіолетовий метод виявлення випромінювань коронного розряду.

Будь-яка методика розрахунків ВК базується на експериментально отриманих залежностях втрат на корону P_K від напруженості поля на поверхні проводів $P_K = f(E)$ чи напруги $P_K = f(U)$. Отримані залежності для різних видів погоди в будь-якій системі координат використовуються під час отримання узагальнювальних функціональних залежностей. Ці узагальнені залежності використовуються під час оцінки середньорічних ВК за заданими тривалостями груп (видів) погоди для заданої конструкції фази з урахуванням типу опор.

Залежності $P_K = f(E)$ дозволили розробити методику розрахунку ВК в залежності від ПЛ різного класу за напругою. Такий підхід є загальноприйнятим та лежить в основі досліджень ВК за допомогою високоточних мостових схем, які проводились у США, Франції, Італії, Японії, Німеччині та інших країнах [7]—[13]. Ця методика вигідно відрізняється від методики, описаної в [14], [15], основаної на даних оперативного інформаційного комплексу (ОІК).

Також актуальність розроблення методів та засобів для вимірювання втрат на коронний розряд підтверджується тим, що це питання та проблема розглянуто у низці статей [11]—[15]. Так автори [14], [15] дійшли висновку, що у базі даних ОІК не можна визначити ВК з прийнятною точністю, оскільки у разі ВК результати завищено приблизно у 2 рази. Водночас використання методики електроенергетичних систем та даних АСКУЕ дозволяє значно підвищити точність оперативного визначення сумарних втрат і ВК, що свідчить про перспективність застосування цієї методики у магістральній електричній мережі. Важливою перевагою методикою є те, що за нею проведена оцінка ВК за період одного року, тобто отримані середньорічні ВК. Саме такою оцінкою цікавляться як у проектуванні, так і під час експлуатації ПЛ для вибору конструкції фази.

Метою роботи є розробка методу вимірювання втрат потужності на коронування міжсистемних ліній електропередавання.

Результати дослідження

На сьогодні властивості сфокусованих антен і практичних розробок систем і пристроїв, основаних на принципах сфокусованих апертур, розглянуто у багатьох публікаціях. Це пояснюється, тим що ці антени мають високу чутливість зонда з сіткою, що дозволяє їх використовувати в якості індикатора наявності об'ємного заряду в зоні досліджуваного поля.

Апертурна теорія антен використовує представлення поля випромінювання антени як суперпозиції полів елементарних джерел, що характеризуються їхнім типом і амплітудно-фазовим просторовим розподілом. Поле випромінювання антени кінцевих розмірів є суперпозицією неоднорідних сферичних хвиль, що випромінюються елементами антени. У полі елементарного електричного

джерела розрізняють дві зони: ближню (зону реактивного поля), що відповідає малим відстаням до зони коронувального проводу, і дальню, в якій поле має вигляд неоднорідної сферичної хвилі. Область простору, яка знаходиться між межами ближньої і дальньої зон, зазвичай називають проміжною зоною, в якій можна виділити дві області: прилеглу до межі ближньої зони і до межі дальньої зони. В деяких випадках знаходить застосування інформація, отримана з параметрів електромагнітного поля в ближній проміжній зоні, яку в [7]—[9] називають зоною ближнього випромінюваного поля.

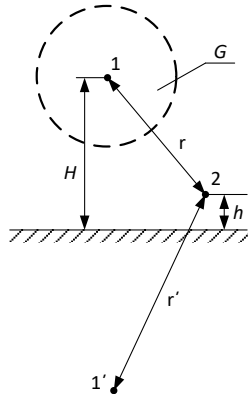


Рис. 1. Розподіл коронного розряду в зоні G :
1 — дріт однофазної лінії;
2 — антена

На рис. 1 показана схема розташування дроту 1 однофазної лінії та антени 2, яка точно в середині своєї довжини заземлена через вимірювальний елемент Z .

Потенціал, наведений на ізолюваній від землі антені за рахунок її електромагнітного зв'язку з лінією, розподіляється по довжині антени таким чином, що його величина в середній точці антени дорівнює нулю. Тому у разі заземлення цієї точки через вимірювальний елемент Z не протікатиме струм, зумовлений магнітним полем лінії. Струм через цей елемент зумовлено лише електростатичним зв'язком антени з дротом.

Електромагнітне поле в ближній зоні випромінюваного поля істотно відрізняється від дальньої зони і характеризується особливою векторною структурою. Розглянемо лінійну антену, утворену елементарним електричним джерелом, орієнтованим уздовж своєї апертури (рис. 1). Мінімальні значення висот підвішування проводів над землею, характерні для ліній електропередавання визначають в діапазоні 7...8 м. На таких висотах об'ємний заряд, що виникає в результаті коронного розряду, розподіляється в зоні G , як це схематично показано на рис. 1.

Зона G має майже симетричний розподіл відносно осі проводу, тобто густина об'ємного заряду залежить лише від відстані досліджуваного елемента об'єму від осі проводу.

Заземлення антени 2 точно в середині її довжини через вимірювальний елемент Z усуває струми, викликані електромагнітним зв'язком між антеною та проводом, по якому протікає робочий струм лінії. Отже, загальна електростатична дія об'ємного заряду на антену еквівалентна дії лінійного заряду такої ж величини, розташованого на осі проводу.

За досить малої величини опору Z зв'язок між зарядом антени та сумарним зарядом проводу визначається співвідношенням

$$q_2 = -\frac{\alpha_{12}}{\alpha_{22}} q_1, \quad (1)$$

де $\alpha_{12} = \frac{1}{2\pi\epsilon} \ln \frac{r'}{r}$ — взаємний потенціальний коефіцієнт антени та проводу; $\alpha_{22} = \frac{1}{2\pi\epsilon} \ln \frac{2h}{a_0}$ — власний потенціальний коефіцієнт антени (a_0 — радіус проводу антени); $q_1 = q_{др} + q_{об}$ — сумарний заряд проводу лінії на одиницю довжини ($q_{др}$ — заряд на поверхні проводу; $q_{об}$ — сумарний об'ємний заряд); q_2 — заряд антени на одиницю довжини.

Таким чином, заряд антени, заземленої в середній точці, пропорційний сумарному заряду області G , тобто зумовлений зарядом, який виникає в зоні G під час виникнення коронного розряду. При цьому, що особливо важливо, коефіцієнт пропорційності α_{12}/α_{22} є постійною величиною, яка визначається геометричними розмірами антени та розмірами, що характеризують взаємне розташування антени і проводу.

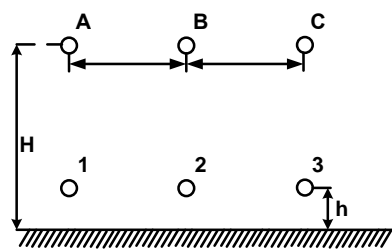


Рис. 2. Варіант розташування антен під проводами трифазної лінії

Зазначена обставина дозволяє за допомогою сенсорних антен проводити вимірювання втрат потужності на коронний розряд.

Задля проведення вимірювань на трифазних лініях необхідно встановити три антени. Один з можливих варіантів розміщення антен під проводами трифазної лінії показано на рис. 2. У цьому варіанті забезпечується зв'язок сумарних зарядів фазних проводів лінії (q_A , q_B і q_C) із зарядами заземлених антен (q_1 , q_2 і q_3), що будуть визначатися системою рівнянь

$$\begin{cases} -(\alpha_1 q_1 + \alpha_2 q_2 + \alpha_3 q_3) = \alpha_I q_A + \alpha_{II} q_B + \alpha_{III} q_C, \\ -(\alpha_2 q_1 + \alpha_1 q_2 + \alpha_2 q_3) = \alpha_{II} q_A + \alpha_I q_B + \alpha_{II} q_C, \\ -(\alpha_3 q_1 + \alpha_2 q_2 + \alpha_1 q_3) = \alpha_{III} q_A + \alpha_{II} q_B + \alpha_I q_C, \end{cases} \quad (2)$$

де $\alpha_1 = \alpha_{11} = \alpha_{22} = \alpha_{33}$; $\alpha_2 = \alpha_{12} = \alpha_{21} = \alpha_{23} = \alpha_{32}$; $\alpha_3 = \alpha_{13} = \alpha_{31}$; $\alpha_I = \alpha_{1A} = \alpha_{2B} = \alpha_{3C}$; $\alpha_{II} = \alpha_{1B} = \alpha_{2C} = \alpha_{3B} = \alpha_{2A}$ — коефіцієнти власного та взаємного потенціалів, що визначаються геометричними розмірами.

Розв'язуючи систему рівнянь (3) для зарядів проводу q_A , q_B і q_C отримуємо:

$$\begin{cases} q_A = A_1' q_1 + A_2' q_2 + A_3' q_3, \\ q_B = B_1' q_1 + B_2' q_2 + B_3' q_3, \\ q_C = C_1' q_1 + C_2' q_2 + C_3' q_3. \end{cases} \quad (3)$$

Коефіцієнти A_i' , B_i' , C_i' складаються з потенційних коефіцієнтів α_i , що входять до системи рівнянь (3), в якій

$$A_1' = \frac{A_1}{\Delta}; \quad A_2' = \frac{A_2}{\Delta}; \quad A_3' = \frac{A_3}{\Delta}, \quad (4)$$

де $\Delta = \alpha_1(\alpha_I^2 - \alpha_{III}^2) - 2\alpha_{II}^2(\alpha_1 - \alpha_{III})$ є детермінантом системи рівнянь

$$\begin{aligned} A_1 &= -\alpha_1(\alpha_I^2 - \alpha_{II}^2) + \alpha_2(\alpha_I \alpha_{II} - \alpha_{II} \alpha_{III}) - \alpha_3(\alpha_{II}^2 - \alpha_I \alpha_{III}); \\ A_2 &= -\alpha_2(\alpha_I^2 - \alpha_{II}^2) + \alpha_1(\alpha_I \alpha_{II} - \alpha_{II} \alpha_{III}) - \alpha_2(\alpha_{II}^2 - \alpha_I \alpha_{III}); \\ A_3 &= -\alpha_3(\alpha_I^2 - \alpha_{II}^2) + \alpha_2(\alpha_I \alpha_{II} - \alpha_{II} \alpha_{III}) - \alpha_1(\alpha_{II}^2 - \alpha_I \alpha_{III}). \end{aligned}$$

Використовуючи рівняння (3) для визначення сумарних зарядів фазних проводів лінії q_A , q_B і q_C , необхідно скласти заряди всіх трьох антен q_1 , q_2 і q_3 , попередньо помножені на коефіцієнти A_i' , B_i' , C_i' . Вимірювальними елементами можуть бути ємності або активні опори. У першому випадку напруги на вимірювальних елементах будуть пропорційні сумарним зарядам фазних проводів лінії, а в другому — похідними за часом цих зарядів, тобто поперечним струмам лінії. Для вимірювання потужності втрат на корону як вимірювальні елементи доцільно брати ємності, оскільки в цьому випадку з результатів вимірювань будуть практично повністю виключені високочастотні перешкоди, які можуть сприйматися антенами.

Напруги на вимірювальних ємностях

$$U_i = \frac{q_i l}{C}, \quad (5)$$

де U — напруга антени; q_i — питомі заряди на одиницю довжини антени; l — довжина кожної антени; C — вимірювальні ємності.

У цьому разі будемо мати, що входні напруги вимірювального контуру залежать не тільки від коефіцієнтів α_i , що визначаються взаємним розташуванням антен і проводів, а й від довжини антен і величини вимірювальних ємностей. Вибір співвідношення l/C визначається напругою, яка повинна бути на вході вимірювального кола, тобто чутливістю вимірювальних засобів.

Довжину антени слід обирати таку, щоб висота проводу над землею (через провисання) на цій довжині трохи змінювалася. Тобто для ліній 400 кВ з прольотами 450 м необхідно встановлювати антену, в середині прольоту. За такого розміщення на висоті підвісу антени $h = 0,5$ м напруга на ній буде становити порядку 8...15 В.

За умов застосування антенного методу враховувались погодні умови вздовж трас ПЛ 400 кВ магістральної електричної мережі. Схематичне зображення охоплення трас ПЛ 400 кВ гарною та поганою погодою показано на рис. 3, гарною погодою, дощем та туманом на рис. 4.

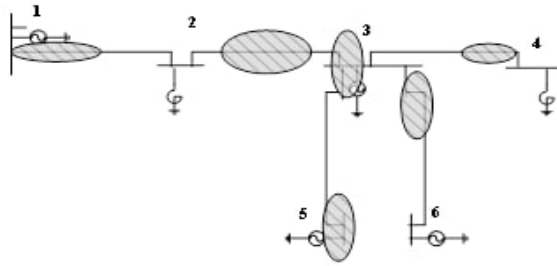


Рис. 3 Схематичне зображення охоплення трас ПЛ гарною та поганою погодою (без розбиття ПЛ)

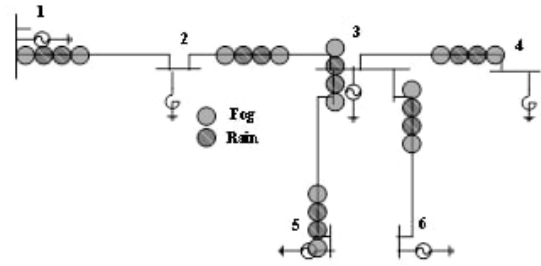


Рис. 4 Схематичне зображення охоплення трас ПЛ (з розбиттям ПЛ) гарною погодою, дощем та туманом

Змонтовано лабораторну модель трифазної лінії довжиною 14,5 м з висотою підвіски проводів 2 м та відстанню між фазними проводами 1,3 м. Сталеві поліровані проводи лінії мали діаметр 1 мм. Під кожною фазою лінії на висоті 0,27 м встановлювалися антени — мідні дроти, що мають ту ж довжину, що і дроти лінії, і діаметр 0,83 мм. Антени заземлялися через конденсатори, напруги яких, пропорційні зарядам відповідних антен, подавалися по чергово на пластини того самого осцилографа і фотографувалися одним кадром. Застосування спеціального синхронізувального пристрою дозволяло отримувати на кожній осцилограмі три кривих. Зразок таких осцилограм для фазної напруги $U_{\phi} = 64$ кВ показано на рис. 5.

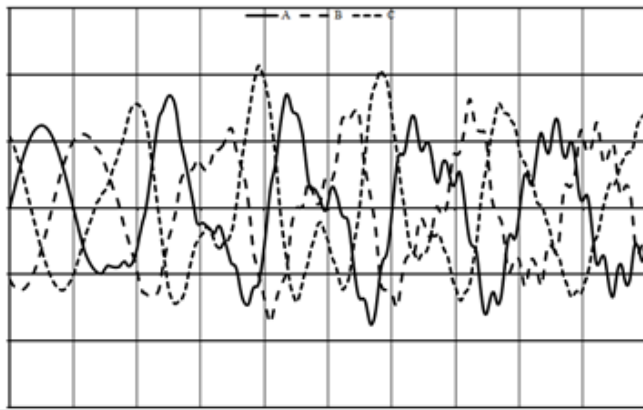


Рис. 5. Осцилограми фазних напруг

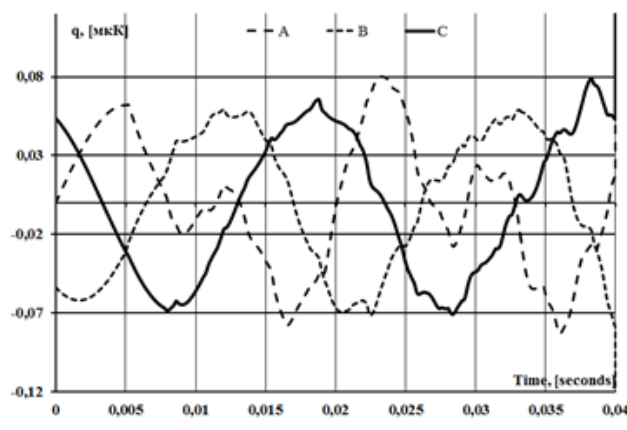


Рис. 6. Криві зарядів фаз лінії

З осцилограми випливає, що криві зарядів антен мають досить складну форму і до того ж різну для всіх фаз. Амплітуди зарядів крайніх антен приблизно дорівнюють одна одній. Помножуючи ординати кривих зарядів антен на відповідні коефіцієнти A_i, B_i, C_i і, складаючи отримані таким чином криві відповідно до рівнянь (3), отримаємо криві рис. 6.

Як випливає з вищевикладеного, криві, що показані на рис. 6 повинні збігатися з кривими повних зарядів дротів дослідної лінії. Щоб мати можливість зіставити заряди антен з повними зарядами дротів, що коронують, візуалізувалися також вольткулонові характеристики дротів лінії. На екрані осцилографа промінь описує замкнену криву, яка називається вольт-кулоною характеристикою. Як відомо, її площа пропорційна втратам енергії на корону за один період зміни напруги.

Вольт-кулонові характеристики всіх трьох фаз дослідної лінії, отримані в результаті безпосередніх вимірювань за напруги 64 кВ, подані на рис. 7, де пунктиром нанесені вольт-кулонові характеристики, побудовані за даними вимірювань за допомогою антен, коли напруга не змінювалася. Пунктирні характеристики отримані за кривими зарядів фаз лінії рис. 6, при цьому викорис-

тано відомі криві фазних напруг, які осцилографувалися одночасно з осцилографуванням кривих зарядів антен і були синхронні з ними. Вольт-кулонові характеристики, отримані будь-яким способом, досить добре збігаються, особливо якщо врахувати, що проміжні розрахунки та побудови, виконані для отримання остаточних кривих за даними вимірювань за допомогою антен, внесли деякі додаткові похибки. Всі характеристики добре збігаються за величиною амплітуд зарядів, формою і площею, що обмежується ними. Останнє особливо важливо з погляду здійснення вимірювань втрат потужності на корону за допомогою антен.

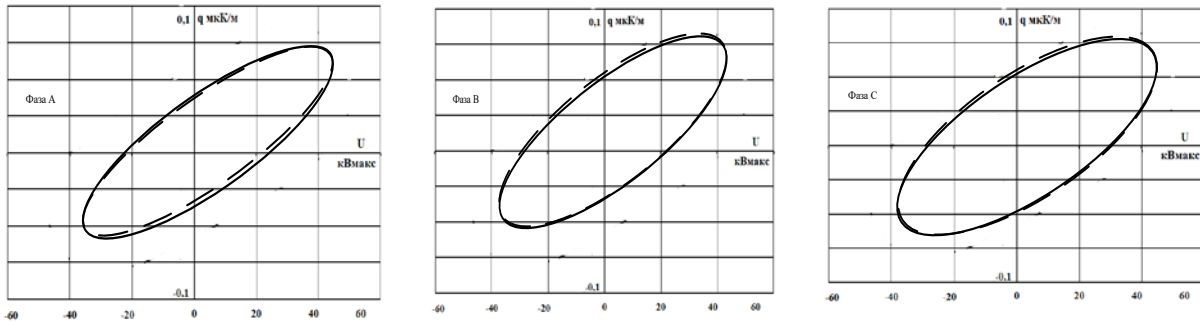


Рис. 7. Вольт-кулонові характеристики трьох фаз лінії

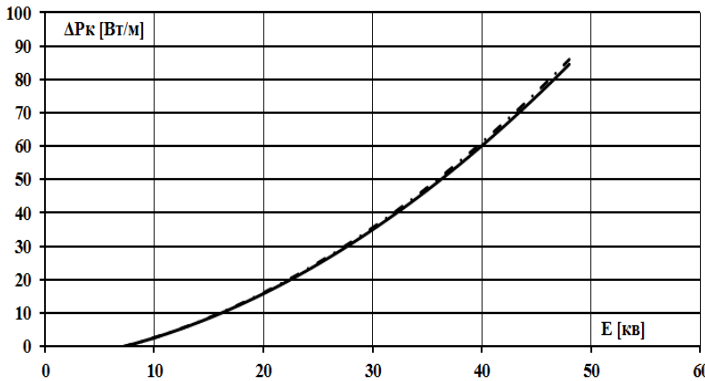


Рис. 8. Втрати потужності на коронування

Побудову кривих заряду, а за ними і вольт-кулонових характеристик здійснено для низки величин фазних напруг, аж до величин, що перевищують початкову напругу корони більш ніж у 3 рази. Таким чином, отримано втрати потужності на корону на проводах лабораторної лінії для широкого діапазону напруг. На рис. 8 отримані дані (позначені пунктирною кривою) зіставляються з характеристикою втрат потужності на корону, побудованої за вольт-кулоновими характеристиками, отриманими в результаті безпосередніх

вимірювань. З порівняння випливає, що втрати потужності на корону, визначені тим чи іншим способом, майже збігаються.

Висновки

В статті запропоновано метод вимірювання втрат потужності на коронування на проводах ЛЕП, який, на відміну від наявних, дозволяє безпосередньо вимірювати антенним методом ці втрати. Використання методу дозволяє підвищити точність вимірювання електричних величин, що характеризують поперечне електричне поле лінії. Адже втрати потужності на корону пов'язані тільки з поперечним електричним полем лінії з відповідними поперечними струмами — струмами між фазними провідниками ПЛ і будь-яким із фазних дротів і землею.

Запропоновано методу, побудовану на вимірюваннях ВК на основі антенного методу. Антенний метод на противагу методу вимірювань мостовими схемами може бути попередньо проградуїований, а його похибка може бути оцінена на основі прямих вимірювань. Аналіз абсолютних значень втрат на коронування, виміряних антенним методом, показує, що метод не дає завищені результати. Результати проведених досліджень показали, що кореляційний зв'язок між зарядом антени і ВК є, проте, точність вимірювань антенним методом може бути підвищена за використання сучасних засобів вимірювання параметрів полів на основі сфокусованих антенних решіток.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] V. Kuchansky, and I. O. Zaitsev, "Corona Discharge Power Losses Measurement Systems in Extra High Voltage Transmission Lines," *2020 IEEE 7th International Conference on Energy Smart Systems (ESS)*, 2020, pp. 48-53.
- [2] I. Blinov, I. O. Zaitsev, and V.V. Kuchansky, "Problems, Methods and Means of Monitoring Power Losses in Overhead Transmission Lines," in *Systems, Decision and Control in Energy I. Studies in Systems, Decision and Control*, V. Babak, V. Isaienko, A. Zaporozhets. Ed, vol 298, 2020. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-48583-2_8.
- [3] I. O. Zaitsev, and, V. V. Kuchansky, "Corona discharge problem in extra high voltage transmission line," in *Systems, Decision and Control in Energy II, Studies in Systems, Decision and Control*, A. Zaporozhets, V. Artemchuk. Ed., 2021. pp. 3-30. Cham: Springer International Publishing.
- [4] Є. Зайцев, В. Кучанський, і І. Гунько, *Підвищення експлуатаційної надійності та ефективності роботи електричних мереж та електроустановок*, моногр. Publishing House «European Scientific Platform», 156 p., 2021. <https://doi.org/10.36074/penereme-monograph>.

- [5] Ye. Zaitsev, A. Levytskyi, V. Bereznichenko, "Hybrid diagnostics systems for power generators faults: systems design principle and shaft run-out sensors," in *Power systems research and operation: Selected problems*, O. Kyrylenko, A. Zharkin, et al. Ed. Springer, 2021, pp. 71-98. https://doi.org/10.1007/978-3-030-82926-1_4.
- [6] В. В. Кучанський, В. Г. Кузнецов, і Ю. І. Тугай, «Вплив коронного розряду на кратність внутрішніх перенапруг у магістральних електричних мережах.» *Технічна електродинаміка*, № 6, с. 55-60, 2017.
- [7] Y. Liu, S. You, Q. Wan, F. Lu, W. Chen and Y. Chen, "UHV AC corona loss measurement and analysis under rain," 2009 *IEEE 9th International Conference on the Properties and Applications of Dielectric Materials*, Harbin, China, 2009, pp. 130-133. <https://doi.org/10.1109/ICPADM.2009.5252490>.
- [8] B. Pinnangudi, R. S. Gorur, A. J. Kroese, "Quantification of corona discharges on nonceramic insulators," *IEEE Transactions on Dielectrics & Electrical Insulation*, no. 12, pp. 513-523, 2015.
- [9] X. Li, et al. "Experimental Studies on the Time-domain Characteristics of Audible Noise from Single Corona Source on the Conductor Under DC Voltage," *Proceedings of the CSEE*, no. 34, pp. 4152-4160, 2014.
- [10] K. Li, R. Guo, J. Hassan, and G. Zhang, "Study of air by-products formation characteristics under corona discharge," *Advanced Technology of Electrical Engineering and Energy*, no. 36, pp. 1-7, 2017.
- [11] Y. Bian, and Y. Kang, "Application of IR and UV detection technology in UHV transmission lines," *North China Electric Power*, pp. 23-26, 2012.
- [12] X. Li, H. Lu, et al. "Application of infrared diagnosing technology in distribution network," *Electric Power*, no. 48, pp. 94-97, 2015.
- [13] J. Cai, N. Zhang, et al. "Ultraviolet detecting technology of 750 kV resistant to porcelain insulator based on artificial pollution test," *Electric Power*, no. 49, pp. 23-29, 2016.
- [14] P. A. Chernenko, і A. S. Volkhonskiy, «Operativnoye opredeleniye zavisimosti poter' na koronu ot napryazheniya v vysokovol'tnykh linyakh.» *Novini yenergetiki*, no. 12, pp. 32-38, 2005.
- [15] P. A. Chernenko, A. S. Volkhonskiy, «Identifikatsiya passivnykh parametrov vysokovol'tnykh liniy v protsesse ekspluatatsii.» *Pratsi Instytutu yelektrodinamiki NAN Ukraїni*, no. 2 (14), pp. 58-61, 2006.
- [16] В. В. Кучанський, і Є. О. Зайцев, «Зондові вимірювання поля коронного розряду змінного струму лінії електропередавання надвисокої напруги.» *Grail of Science*, № 3, 6. с. 209-214, 2024. <https://doi.org/10.36074/grail-of-science.16.02.2024.033>.

Рекомендована кафедрою електричних станцій та систем ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 4.06.2024

Кучанський Владислав Володимирович — канд. техн. наук, старший дослідник, докторант відділу оптимізації систем електропостачання, e-mail: kuchanskiyvladislav@gmail.com .

Інститут електродинаміки НАН України, Київ;

Зайцев Євген Олександрович — д-р техн. наук, старший науковий співробітник, завідувач відділу теоретичної електротехніки та діагностики електротехнічного обладнання Інституту електродинаміки НАН України;

Коваленко Олександр Миколайович — аспірант кафедри публічного адміністрування Міжрегіональної Академії Управління персоналом; молодший науковий співробітник відділу технологій захисту довкілля та радіаційної безпеки.

Центр інформаційно-аналітичного та технічного забезпечення моніторингу об'єктів атомної енергетики Національної академії наук України, Київ

V. V. Kuchanskyy¹
I. O. Zaitsev^{1,2}
O. M. Kovalenko²

Analysis of Experimental Estimates Power Corona Losses on Overhead Intersystem Power Transmission Lines

¹Institute of Electrodynamics of National Academy of Sciences of Ukraine Kyiv;

²Center for Information-analytical and Technical Support of Nuclear Power Facilities Monitoring
of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv

Interest in the study of coronation is related to energy losses during coronation of power transmission lines. Thus, energy losses in case of crowning of wires of ultra-high voltage power transmission lines in bad weather are very significant.

The method of measuring power loss per corona is described. The main task of which can be divided into two parts: determining the full charges of each of the three phases of the transmission line and directly measuring the power loss. The basis of the first task is the use of antennas and the subsequent solution of the system of equations. The validity of the described method was experimentally substantiated in laboratory conditions. For this purpose, a laboratory model of a three-phase line with a length of $l = 14.5$ m with a height of suspension of wires above the plane $H = 2$ m and a distance between phases $D = 1.3$ m was mounted, while steel wires with a diameter of 1 mm were used. Under each phase of the line at a height of $h = 0.27$ m, antennas are installed — copper wires of the same length as on the line. The antennas were grounded using capacitors, from which the voltages were applied to the oscilloscope and visualized. All three voltages, proportional to the charges of the corresponding antennas, were applied in turn to the oscilloscope and photofixation of one frame was carried out. A special synchronizing device made it possible to obtain three time-matched curves on each oscillogram. Charge curves and volt-coulomb characteristics are constructed under conditions of changing phase voltages, up to values exceeding the initial corona voltage by more than 3 times. Thus, we obtained data on power losses per corona on the wires of the experimental laboratory line in a wide range of voltages. A detailed experimental study of the antenna method for measuring corona power losses was performed in the laboratory on the experimental line, where the conditions are close to the conditions of actual intersystem power transmission lines. These studies confirmed the conclusions obtained on the basis of laboratory experiments. An experimental study fully confirmed the possibility of measuring corona power losses on intersystem power transmission lines using antennas.

Keywords: coronation, coronation power losses, electric field strength, antenna, volt-coulomb characteristic.

Kuchansky Vladyslav V. — Cand. Sc. (Eng.), Senior Researcher, Doctoral Student of the Department of Power-Supply Systems Optimization, e-mail: kuchanskiyvladislav@gmail.com ;

Zaitsev Ievgen O. — Dr. Sc. (Eng.), Senior Researcher, Head of the Department of Theoretical Electrical Engineering and Diagnostics of Electrical Equipment;

Kovalenko Olexandr M. — Post-Graduate Student of the Chair of Public Administration Interregional Academy of Personnel Management; Junior Researcher of the Department of Environmental Protection Technologies and Radiation Safety of Center for Information-analytical and Technical Support of Nuclear Power Facilities Monitoring of the National Academy of Sciences of Ukraine