

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії та енергетики

Кафедра електрифікації, автоматизації виробництва та інженерної екології

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

Кашапов Богдан Олексійович

УДК 621.359.4

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Розробка системи моніторингу повітряних ліній
електропередачі напруги 110 кВ
(тема роботи)

141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

(шифр і назва спеціальності)

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Кашапов Б.О.

(підпис, ініціали та прізвище здобувача вищої освіти)

Керівник роботи

Соколовський О.Ф.

(прізвище, ім'я, по батькові)

к.т.н., доцент кафедри електрифікації,
автоматизації виробництва та інженерної екології
(науковий ступінь, вчене звання)

Житомир – 2025

АНОТАЦІЯ

Кашапов Б.О. Розробка системи моніторингу повітряних ліній електропередачі напруги 110 кВ. Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка – Поліський національний університет, Житомир, 2025.

Ця проблема є критично важлива у сфері електроенергетики. Вона безпосередньо пов'язана з забезпеченням надійності та безперебійності електропостачання, особливо в умовах зростаючого старіння інфраструктури.

Запропоновано функціональна схема діагностичного пристрої технічного стану ЛЕП і блок схема пристрою визначення місця коронного розряду на ЛЕП дозволить підвищити надійність роботи обладнання та скоротити витрати.

Ключові слова: залишковий ресурс повітряних ліній, надійності та безперебійності електропостачання.

ABSTRACT

Kashapov B.O. Development of a monitoring system for overhead power lines with a voltage of 110 kV. Qualification work for obtaining a master's degree in the specialty 141 – Power Engineering, Electrical Engineering, and Electromechanics – Polissia National University, Zhytomyr, 2025.

This issue is critically important in the field of power engineering. It is directly related to ensuring the reliability and continuity of electricity supply, especially in the context of increasing infrastructure aging.

A functional diagram of the diagnostic device for the technical condition of overhead power lines has been proposed, and a block diagram of the device for determining the location of corona discharge on overhead power lines will enhance the reliability of equipment operation and reduce costs.

Keywords: residual resource of overhead lines, reliability and continuity of electricity supply.

ЗМІСТ

ВСТУП	4
1. ВТРАТИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ НА ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЯХ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ Є НЕВІД'ЄМНОЮ ЧАСТИНОЮ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ.	6
1.1 Фізичні явища, що впливають на втрати електроенергії на повітряних лініях електропередачі	7
1.2 Втрати потужності через корону	8
1.3 Методи зниження втрат потужності через корону	11
1.4 Ожеледиця та поморозі на проводах ліній електропередачі та боротьба з ними	13
1.5 Умови утворення ожеледиці	14
1.6 Врахування навантажень від ожеледиці при проектуванні ліній	18
1.7 Заходи боротьби з ожеледицею на лініях електропередачі	18
Висновки по розділу	22
2. ВИСОКОВОЛЬТНІ ЛІНІЇ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧ ЯК ДЖЕРЕЛА РАДІОПЕРЕШКОД	23
2.1. Природа радіоперешкод	23
2.2. Особливості коронного розряду	24
2.3. Поширення радіоперешкод	25
2.4. Діагностика ліній електропередачі за допомогою радіоперешкод	27
2.5. Метод Коске: у роки минулого та перспективи майбутнього	28
Висновки по розділу	29
3. ПРОПОЗИЦІЇ ЩО ДО РОЗРОБКИ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ НАПРУГИ 110 КВ	30
3.1 Функціональна схема діагностичного пристрої технічного стану ЛЕП	30
3.2 Блок схема пристрою визначення місця коронного розряду на ЛЕП	32
Висновки по розділу	35
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	35
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	36

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. В сучасних умовах забезпечення надійності та ефективності енергетичних систем стає особливо актуальним. Однією з ключових складових цих систем є повітряні лінії електропередачі (ПЛЕП), які забезпечують транспортування електроенергії на великі відстані. У зв'язку з зростаючими вимогами до надійності електропостачання виникає необхідність розробки та впровадження систем моніторингу ПЛЕП.[1]

По-перше, повітряні лінії піддаються різним несприятливим впливам, таким як атмосферні явища, вплив тварин і рослинності, а також механічні пошкодження. Ці фактори можуть призвести до аварій та відключень, що, в свою чергу, негативно впливає на всю енергетичну інфраструктуру. Система моніторингу дозволить оперативне виявлення потенційні загрози та попереджати про можливі аварійні ситуації.

По-друге, впровадження сучасних технологій моніторингу, таких як системи дистанційного зондування, дрони та сенсорні технології, значно підвищить ефективність управління повітряними лініями. За допомогою цих технологій можна здійснювати регулярний контроль стану ліній, аналізувати дані в режимі реального часу та вживати своєчасних заходів щодо їх обслуговування та ремонту.

Крім того, створення системи моніторингу ПЛЕП сприяє оптимізації виробничих процесів в енергетичній галузі. Чітке розуміння стану лінії дозволяє більш точно планувати профілактичні роботи, знижуючи витрати на обслуговування та підвищуючи загальну надійність електропостачання.

Мета роботи. Розробка системи моніторингу повітряних ліній електропередачі напруги 110 кВ.

Об'єктом дослідження є повітряні лінії електропередачі, технічний стан складових її елементів, а предметом - порівняння методів оцінки технічного стану повітряних ліній електропередачі (ПЛ).

Запропонована функціональна схема діагностичного пристрої технічного стану ЛЕП дозволить підвищити надійність роботи обладнання та скоротити витрати.

Перелік публікацій автора за темою дослідження :

1. **Кашапов Б. О. ВПЛИВ ОЖЕЛЕДИЦІ НА НАДІЙНІСТЬ ЛЕП** 232-233 с. МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАУКОВО-ІННОВАЦІЙНИЙ ІНСТИТУТ ІНЖЕНЕРІЇ АГРОПРОМИСЛОВОГО ВИРОБНИЦТВА ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ФАКУЛЬТЕТ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ЕНЕРГЕТИКИ МАТЕРІАЛИ НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ НАУКОВО- ПЕДАГОГІЧНИХ ПРАЦІВНИКІВ, ДОКТОРАНТІВ, АСПІРАНТІВ ТА ЗДОБУВАЧІВ ВИЩОЇ ОСВІТИ ФАКУЛЬТЕТУ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ЕНЕРГЕТИКИ «СТУДЕНТСЬКІ ЧИТАННЯ – 2024» 31 жовтня 2024 року м. Житомир
2. **Кашапов Б. О., Закаталов К. М. ВИБІР МЕТОДУ ВИЯВЛЕННЯ ОЖЕЛЕДИЦІ** 225-227 с. МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАУКОВО-ІННОВАЦІЙНИЙ ІНСТИТУТ ІНЖЕНЕРІЇ АГРОПРОМИСЛОВОГО ВИРОБНИЦТВА ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ФАКУЛЬТЕТ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ЕНЕРГЕТИКИ МАТЕРІАЛИ НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ НАУКОВО-ПЕДАГОГІЧНИХ ПРАЦІВНИКІВ, ДОКТОРАНТІВ, АСПІРАНТІВ ТА ЗДОБУВАЧІВ ВИЩОЇ ОСВІТИ ФАКУЛЬТЕТУ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ЕНЕРГЕТИКИ «СТУДЕНТСЬКІ ЧИТАННЯ – 2024» 31 жовтня 2024 року м. Житомир
3. **Драко Н. О., Кашапов Б. О., Марчук В.О. ПІДВИЩЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ПОТУЖНОСТІ ОДИН З СПОСОБІВ ПОКРАЩЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ** 222-223 с. МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАУКОВО-ІННОВАЦІЙНИЙ ІНСТИТУТ ІНЖЕНЕРІЇ АГРОПРОМИСЛОВОГО ВИРОБНИЦТВА ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ФАКУЛЬТЕТ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ЕНЕРГЕТИКИ МАТЕРІАЛИ НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ НАУКОВО-ПЕДАГОГІЧНИХ ПРАЦІВНИКІВ, ДОКТОРАНТІВ, АСПІРАНТІВ ТА ЗДОБУВАЧІВ ВИЩОЇ ОСВІТИ ФАКУЛЬТЕТУ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ЕНЕРГЕТИКИ «СТУДЕНТСЬКІ ЧИТАННЯ – 2024» 31 жовтня 2024 року м. Житомир

1. ВТРАТИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ НА ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЯХ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ Є НЕВІД'ЄМНОЮ ЧАСТИНОЮ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ.

Втрата електроенергії на повітряних лініях електропередачі є значною проблемою в галузі енергетики, що впливає на ефективність передачі електричної енергії та економіку енергетичних систем. Основні причини втрат пов'язані з фізичними явищами, що відбуваються в провідниках під час передачі електрики.

У процесі передачі електроенергії по повітряних лініях виникає два типи втрат: активні та реактивні. Активні втрати зумовлені опором провідників, що призводить до розсіювання частини енергії у вигляді тепла. Ці втрати можуть значно збільшуватися в залежності від відстані передачі та сили струму, що підкреслює важливість правильного вибору перерізу та матеріалу проводів. Реактивні втрати, у свою чергу, виникають через індуктивні та ємнісні властивості ліній, що також впливає на загальні енергетичні потоки.

Крім того, несприятливі кліматичні умови, такі як вітер, дощ і льодові відкладення, можуть погіршити характеристики провідників і збільшити втрати. Ці фактори, так само як і фізичний знос провідників, вимагають регулярного моніторингу та технічного обслуговування ліній електропередач для мінімізації втрат і забезпечення надійності постачання електроенергії.

Важливо зазначити, що сучасні технології, такі як використання високовольтних ліній або провідників з низьким опором, можуть сприяти зменшенню втрат електроенергії. Крім того, впровадження систем автоматизації та моніторингу дозволяє оптимізувати режими роботи електричних мереж, що також сприяє зменшенню втрат.

Втрати електроенергії на повітряних лініях електропередачі є невід'ємною частиною функціонування енергетичних систем. Ефективне управління цими втратами вимагає комплексного підходу, що включає як технологічні рішення, так і регулярний моніторинг стану ліній. Це не лише

сприяє економії ресурсів, але й підвищує безпеку та надійність електропостачання.

1.1 Фізичні явища, що впливають на втрати електроенергії на повітряних лініях електропередачі

Електричні мережі відіграють ключову роль у сучасних енергетичних системах, забезпечуючи передачу електроенергії від виробників до споживачів. Однак, незважаючи на високу ефективність сучасних технологій, повітряні лінії електропередачі (ЛЕП) підлягають різним фізичним явищам, що сприяють втраті електроенергії.

Одним із значних факторів втрат енергії є опір провідників. При проходженні електричного струму через провідник відбувається виділення тепла, що призводить до так званих I^2R втрат, де I — це струм, а R — опір провідника. Для мінімізації цих втрат використовуються матеріали з низьким опором, такі як алюміній і мідь, однак навіть вони не виключають можливості теплових втрат повністю.

Також варто зазначити, що атмосферні умови можуть впливати на ефективність повітряних ЛЕП. Наприклад, вологість і наявність дощу можуть призводити до збільшення провідності атмосфери і, як наслідок, до електронних витоків. У таких ситуаціях частина енергії може втрачатися через пробій ізоляції та коронний розряд, який викликає додаткове виділення тепла і знижує ефективність передачі.

Крім того, явища, пов'язані з електричним полем, створюваним лініями електропередачі, можуть впливати на втрату енергії. Вплив електромагнітних полів на навколишнє середовище може призводити до небажаних втрат через індукцію в найближчих об'єктах, що також слід враховувати при проектуванні ліній.

На завершення, втрати електроенергії на повітряних лініях електропередачі є наслідком ряду фізичних явищ, включаючи опір

провідників, атмосферні умови та електромагнітні ефекти. Для підвищення ефективності електромереж необхідно використовувати сучасні технології та матеріали, а також враховувати вплив навколишнього середовища на функціонування ліній електропередачі.

Таким чином можна виділити такі типи втрат у повітряних ЛЕП:

- неминучі втрати з допомогою омичного опору проводів;
- втрати через електромагнітне випромінювання;
- втрати у разі виникнення коронного розряду на проводах та ізоляторах;
- втрати у разі резонансних явищ у дроті при неузгодженні з навантаженням;
- витікання струму за рахунок порушення ізоляції;
- витік струму при коротких замиканнях між фазами та замикання на землю.

Наявність несприятливих погодних умов (дощ, сніг, туман, сильний вітер, ожеледиця) призводить до додаткових втрат, зокрема виникнення коротких замикань, часткового пошкодження і обриву проводів.

У роботі розглянемо дві основні типи втрат електроенергії на ЛЕП, це коронний розряд та ожеледиця і паморозь.

1.2 Втрати потужності через корону

Втрати потужності через корону є значним чинником, що впливає ефективність високовольтних ліній електропередачі. Коронний розряд (коронний ефект, корона) виникає, коли напруженість електричного поля навколо проводів перевищує критичний рівень, викликаючи іонізацію навколишнього повітря та появу видимого розряду. Цей розряд супроводжується виділенням енергії, що йде в довкілля, що призводить до втрат потужності[2].



Рисунок 1. Вид коронного ефекту на повітряній ЛЕП

Корона у системі передачі електроенергії - це явище іонізації повітря, що оточує провідник. Навколо будь-якого провідника лінії передачі виникає градієнт електричного поля, отже, градієнти потенціалів. Градієнт збільшується зі зростанням потенціалу. При високій потенційній напрузі починається іонізація (рисунок 1).

Іонізоване повітря та вільні електрони переміщуються безладно та стикаються з молекулами повітря, що призводить до збільшення іонізації.

В результаті руху молекул іонізованого повітря виникає "шиплячий звук". Коли рівень іонізації дуже високий, спостерігається фіолетовий колір, і це називається візуальною короною. Її можна побачити у темний час доби на лініях високої та низької напруги.

Зі збільшенням градієнта потенціалу розширюється іонізований шар. Іноді може виникнути іскра чи спалах між двома провідниками або між провідником та землею.

Потужність, необхідна іонізації, надходить від лінії електропередачі і призводить до втрат в електричній системі. Це головний недолік коронного розряду.

Коронний ефект має дві основні складові втрат потужності: залежну від частоти та незалежну від неї.

Частотна-залежна складова обумовлена змінним характером струму в лініях змінного струму, що призводить до більш високих втрат порівняно з високовольтними лініями постійного струму (HVDC) .

Втрати потужності збільшуються зі зростанням частоти, отже за нульової частоти (в електричних системах постійного струму) втрати мінімальні. Це пояснює, чому перехід на HVDC стає кращим для ліній надвисокої напруги, оскільки це дозволяє суттєво скоротити втрати потужності через корону.

Одним із основних факторів, що впливають на корону, є напруга. Втрати потужності через корону пропорційні квадрату напруги. Отже, на лініях надвисокої напруги втрати значно вищі, ніж лініях високої напруги.

Корона також посилюється за наявності пилу поверхні проводів, оскільки пил знижує критичне напруга, у якому починається корона. Аналогічно, дощ та вологість повітря сприяють іонізації, збільшуючи втрати потужності. За сильних дощів втрати досягають насичення і перестають збільшуватися.

У хорошу погоду, коли на дротах немає опадів, втрати практично відсутні. Однак краплі дощу, сніг, іній та інші опади, осідаючи на дротах, створюють на них гострі виступи, що призводить до зменшення діаметра дроту. Це, у свою чергу, знижує рівень критичної напруги на 30-50%. В результаті дроти починають коронувати.

Критична напруга при розрахунку втрат потужності на корону - це напруга, при якій напруженість електричного поля біля поверхні дроту стає рівною напруженості виникнення корони. Коли напруга сягає критичного

значення, напруженість електричного поля більше зростає, і починає виникати корона.

Середньорічні втрати на лініях електропередачі (ЛЕП) становлять близько 12 кВт/км для ЛЕП 500 кВ, 37 кВт/км для ЛЕП 750 кВ і досягнуть 80 кВт/км для ЛЕП 1150 кВ за середньорічного часу роботи лінії під напругою 7000–8000 годин на рік.

Для розрахунку втрат потужності через корону використовуються формули Піка і Пітерсона (Chattopadhyay S., Das A. "Overhead Electric Power Lines: Theory and Practice"). Формула Піка застосовується, коли відношення напруги до критичної напруги менше 1,8, інакше використовується формула Пітерсона.

Формула Піка:

$$P_c = 21 \cdot \frac{1}{\left\{ \ln \frac{D}{r} \right\}^2} \cdot f \cdot V^2 \cdot F$$

Формула Пітерсона:

$$P_c = \frac{244}{\delta} \cdot (f + 23) \cdot \sqrt{\frac{r}{D}} \cdot (V - V_c)^2$$

Ці формули показують, що втрати потужності зростають із квадратом напруги, що пояснює високі втрати на лініях електропередачі[2].

Формула Пітерсона також враховує діаметр проводів та відстань між ними, що дозволяє більш точно оцінити втрати залежно від конструктивних параметрів лінії.

1.3 Методи зниження втрат потужності через корону

Методи включають збільшення відстані між проводами, використання проводів більшого діаметра, зниження робочої напруги та перехід на високовольтні лінії постійного струму (HVDC) .

Застосування багатожильних проводів та встановлення коронних кілець також допомагають зменшити втрати. Коронні кільця, виготовлені з провідних

матеріалів, знижують напруженість електричного поля на поверхні дротів, тим самим зменшуючи іонізацію повітря та втрати потужності[2].

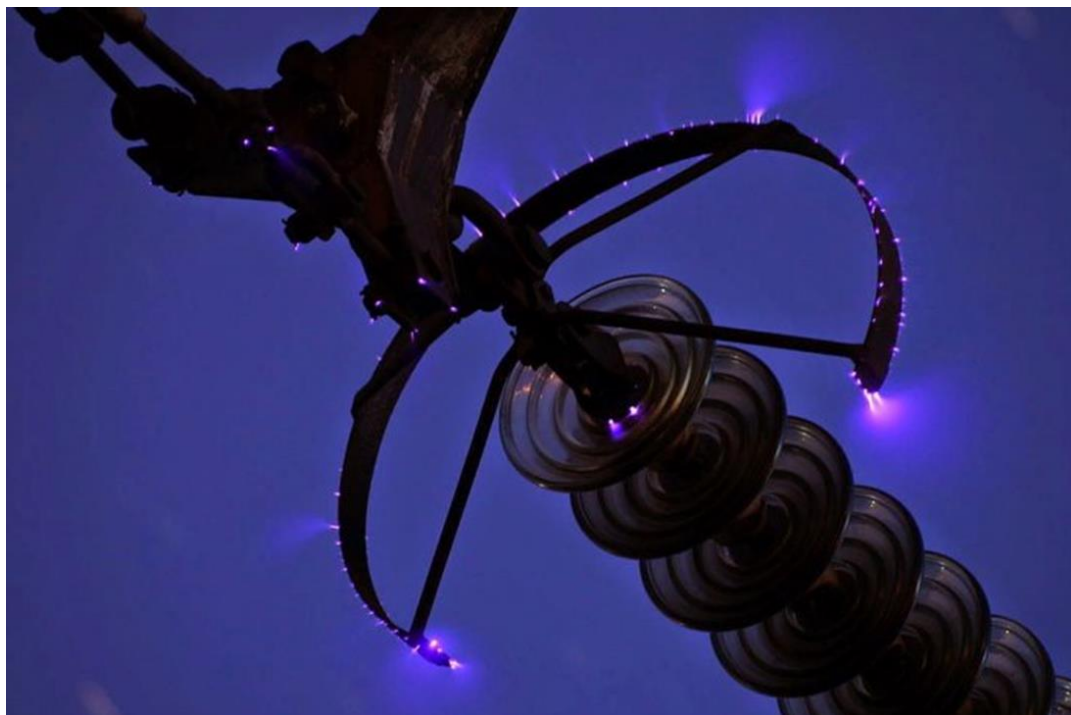


Рисунок 2. Кільце зниження ефекту коронного розряду

На лініях надвисокої напруги для зниження втрат потужності на корону (500 кВ і вище) використовують розщеплені дроти — групу з кількох тонких дротів (діаметром 2–3 см), що розташовані на відстані 40–50 см один від одного та закріплені ізоляційними розпірками. Такий пучок проводів за значенням критичної напруги еквівалентний одному дроту великого діаметра.

На лінії 500 кВ встановлюють три дроти в пучку, на 750 кВ - чотири, а для лінії 1150 кВ потрібно вже шість-вісім проводів, при цьому загальний діаметр пучка досягає 1-1,5 метра. Однак навіть розщеплення дротів лише частково знижує втрати на корону, але не усуває їх повністю.

Дослідження в області корони на повітряних лініях електропередачі показують, що втрати потужності через корону можуть бути значно знижені за умови правильного проектування та використання сучасних технологій.

Розроблено різні методи випробувань та обчислювальні техніки для визначення втрат потужності, що дозволяє більш ефективно керувати

високовольтними системами та знижувати небажані втрати та пошкодження[3].

1.4 Ожеледиця та поморозі на проводах ліній електропередачі та боротьба з ними

Утворення ожеледиці та поморозі на проводах ліній електропередачі викликає підвищення тяжіння в них та збільшення вертикального навантаження на траверси та стійки опор, що може призвести до пошкоджень окремих елементів лінії. Зазвичай в ожеледицях навантаження від ожеледиці на провід досягає 4 - 5 кг/м. У районах де є сильна ожеледиця характерні максимальні навантаження 8-10 кг/м (рисунок 3).



Рисунок 3. Ожеледиця та поморозь на проводах ліній електропередачі.

Природно те, що такі навантаження спричиняють значні пошкодження на лініях. Досвід експлуатації, однак, показує, що пошкодження лінії іноді можуть мати місце при навантаженнях, на які лінія розрахована, а в деяких випадках навіть при менших навантаженнях[4].

Найчастіше такі ушкодження спостерігаються на лініях з вертикальним розташуванням дротів. Так, на самому початку ожеледиці провід з ожеледицею має форму перерізу, що нагадує крило літака. При сильному вітру з'являється

підйомна сила, що викликає танець проводів, відбуваються небезпечні зближення, схльостування, оплавлення і навіть обриви проводів.

Лінія може відключитися при таненні ожеледиці, коли відбувається «підскок» дроту, що звільнився від навантаження. В результаті можливе схльостування між проводами, між проводом і тросом або перекриття повітрям, якщо відстань між проводами взято недостатнім.

У слабо ожеледь районах величина «підскоку» мала і схльостування немає при звичайних відстанях між проводами. У сильно ожеледь районах «підскок» виходить великим і знадобилися б значні відстані між проводами.

Так, у IV районі ожеледиці провід АС-150 у прольоті довжиною 150 м може підскочити до 7,5 м. Тому в таких районах економічно будувати лінії з горизонтальним розташуванням проводів.

В експлуатації нерідко ожеледиця по краях анкерної ділянки опадає, а в одному із середніх прольотів зберігається. Тоді всі гірлянди підвісних ізоляторів відхиляються у бік навантаженого прольоту і в ньому станеться додатковий провіс проводу. Провислий провід може торкнутися нижче розташованих дротів і навіть землі, що призведе до відключення лінії.

Порушення габариту над землею або торкання землі цілим проводом може статися і в усьому анкерному ділянці через велике провисання проводу при потужних відкладенням ожеледиці.

1.5 Умови утворення ожеледиці

Ожеледиця і паморозь утворюються з крапель дощу, мряки або туману при негативній температурі повітря. При зіткненні з твердим предметом переохолоджені краплі швидко кристалізуються і перетворюються на лід (вода має властивість зберігати свій рідкий стан при температурах до -60°C , якщо в ній немає твердих частинок, навколо яких може початися її затвердіння).

Якщо краплі, що впали на провід, встигають до кристалізації розтектися по поверхні і злитися між собою, то виходить твердий прозорий осад льоду — ожеледиця. Коли ж краплі не встигають розтектися, вони намерзають один на

одного, між ними залишається простір, заповнений повітрям, виходить тендітний осад білого кольору - мозоля.

Структура осаду характеризується його вагою. Ожеледиця має об'ємну вагу від 0,9 до 0,6 г/см³. Об'ємна вага паморозі внаслідок значної кількості повітряних включень коливається від 0,5 до 0,10 г/см³.

Утворення ожеледиці зазвичай спостерігається при дощі або великокапельної морсі при температурі повітря 0 - 5 ° С. Заморозь утворюється при опадах, що мрячать, і тумані при температурі повітря (-) 3 - (-) 10 ° С.

Нерідко слідом за утворенням ожеледиці починається нашарування паморозі або навпаки, що має місце за зміни умов погоди. Такі ожеледиці називаються змішаними.

Вага ожеледиці визначається кількістю вологи, що осідає на дроті.

Вплив діаметра дроту, швидкості вітру та розміру крапель проявляється внаслідок обтікання дроту потоком повітря.

Так, за відсутності вітру краплі мряки або дощу падають вертикально вниз під дією сили тяжіння і з проводом стикаються тільки ті, які знаходяться в смузі, що дорівнює діаметру дроту.

У цьому випадку вага ожеледиці, що утворилася, пропорційна діаметру дроту. При вітрі краплі рухаються майже горизонтально, разом із потоком повітря. Потік повітря, зустрічаючи провід і обтікаючи його, відхиляється, від прямолінійного шляху і захоплює зі смуги частину крапель, проносячи їх повз дроти.

Таким чином, за наявності вітру ширина смуги, з якої всі краплі потрапляють на провід, буде меншою за діаметр дроту. Незважаючи на те, що зі збільшенням швидкості потоку смуга зменшується, загальна кількість крапель, що осідають на дроті в одиницю часу (вага ожеледиці) збільшується за рахунок, підвищеної швидкості вітру.

Відомо, що зі збільшенням висоти над поверхнею землі швидкість вітру зростає. Цим пояснюється збільшення ваги відкладення ожеледиці на дроті із збільшенням, висоти його розташування над поверхнею, землі.

Характерно, що зростання ваги ожеледиці з висотою відбувається більшою мірою, ніж збільшення швидкості вітру. Так, вимірювання на проводах діаметром 6 мм показали, що на висоті 23 м вага ожеледиці в 5 разів більша, ніж на висоті 2 м, тоді як швидкість вітру при цьому збільшується всього, в 1,5 - 2 рази.

Вага ожеледиці зростає із збільшенням діаметра дроту. Однак така залежність зберігається лише до певних значень діаметра.

При тумані і мряці (дрібні краплі) товсті дроти більшою мірою, ніж тонкі, викликають відхилення потоку від прямолінійного шляху, захоплення крапель потоком у них проявляється інтенсивніше, тому у товстих проводів зменшення ширини смуги відбувається більшою мірою. В результаті кількість крапель і вага ожеледиці, що осідає на одиницю поверхні, в середньому буде менше у товстих проводів.

Практично товщина односторонньої кірки зменшується із збільшенням діаметра дроту. Великі краплі дощу мають силу інерції більшу, ніж відхиляюча сила потоку, тому зменшення смуги при дощі мало і залежність між вагою ожеледиці і діаметром дроту прямолінійна.

Краплі дощу, мряки або туману можуть осідати на дроті тільки з навітряного боку, внаслідок чого ожеледиця завжди росте назустріч вітру. В результаті з'являється ексцентрична сила, що створює момент, під дією якого провід з ожеледицею закручується і поверхня, схильна до ожеледиці, збільшується.

Згодом провід може повернутись на кут більше 360° і вся його поверхня буде покрита осадом циліндричної форми. Кут закручування росте з віддаленням від точок кріплення дроту. У середині прольоту він буде найбільшим, а біля затискачів найменшим (майже відсутній).

Товсті дроти мають більшу жорсткість, тому їх здатність до закручування менше. Вже зазначалося, що у тонких дротів ожеледиця росте швидше, ніж у товстих. Тому може вийти, що при достатній довжині прольоту тонкий провід

повернеться на 90° раніше, ніж товстий, і поверхня для ожеледиці у нього стане майже рівною поверхні товстого дроту.

На розміри ожеледиці істотно впливає напрям вітру по відношенню до осі дроту. При поперечному вітрі розміри ожеледиці будуть найбільшими.

При вітрі вздовж траси розміри ожеледиці мінімальні і становлять приблизно 25% порівняно з ожеледицею при поперечному вітрі. За інших напрямків вітру розміри ожеледиці мають проміжні значення.

Вага ожеледиці залежить від кількості вологи в потоці повітря, що значно знижується, якщо потік проходить через лісову смугу. У цьому випадку краплі осідають на деревах і за смугою проходить потік із меншим вмістом вологи. Крім цього, ліс зменшує швидкість вітру. Таким чином, наявність лісової смуги з боку ожеледонесучого потоку зменшує розміри ожеледиці. Досліди з дротом, підвішеним на висоті 2 м, показали, що лісова смуга шириною 40 м знижує вагу ожеледиці приблизно на 70 - 75%, якщо провід знаходиться, на відстані 15 м від лісу.

Різні підвищення місцевості над проводами з боку ожеледонесучого потоку, розташовані досить близько від лінії, послаблюють швидкість потоку і призводять до зменшення ваги ожеледиці на дроті.

Якщо лінія проходить по височини, то за рахунок підвищеної швидкості вітру в цьому місці вона буде схильна до значних ожеледиць у поєднанні з сильними вітрами, що особливо несприятливо. Тому завжди уникають будувати лінії у таких місцях.

Інтенсивність ожеледиці залежить від позначки місцевості над рівнем моря. Часті та довготривалі умови погоди, що сприяють утворенню ожеледиці або морозу, спостерігаються у певному діапазоні відміток. Цим пояснюється, чому на високих позначках місцевості часто мають місце потужні ожеледиці[4].

1.6 Врахування навантажень від ожеледиці при проектуванні ліній

При розрахунку елементів повітряних ліній використовуються так звані розрахункові ожеледиці, які визначаються для кожного району.

Вага ожеледиці, як вказувалося, залежить від діаметра дроту та його висоти розташування над землею. Тому до спостереження метеостанцій вноситься відповідна поправка, яка враховує можливу вагу ожеледиці на відповідній висоті при дійсному діаметрі дроту.

При розрахунках користуються не дійсними значеннями розміру та об'ємної ваги освіти, а наведеними до об'ємної ваги 0,9 та приймається, що по всій довжині прольоту відкладення має однакову товщину.

Товщина стінки ожеледиці взята для I району 0,5 см, для II - 1 см, для III - 1,5 см, для IV - 2 см. Вважається, що товщина стінки ожеледиці є однаковою для всіх діаметрів дроту.

Особливо ожеледиці зазвичай займають невеликі площі, що характеризуються особливостями рельєфу і клімату. Завищення розрахункових навантажень викликає значне збільшення вартості спорудження лінії, а заниження може призвести до пошкодження лінії. Таким чином, правильний облік різних навантажень при проектуванні повітряних ліній має вирішальне значення для її надійної експлуатації.

1.7 Заходи боротьби з ожеледицею на лініях електропередачі

1.7.1 Плавка ожеледоутворення електричним струмом

Дієвим способом боротьби з ожеледицею є плавка ожеледиці електричним струмом. При проходженні електричного струму ожеледиця підплавляється навколо дроту і під власною вагою осідає вниз.

Надалі тільки верхня частина дроту стикається ожеледицею, внаслідок чого в ньому проплавляється канавка і провід звільняється від ожеледиці.

Тепло, що виділяється у дроті, витрачається на його нагрівання, на нагрівання ожеледиці до 0 °С і його плавлення. Частина тепла втрачається конвекцією і зовсім мало — променем. Втрати конвекцією ростуть зі збільшенням швидкості вітру та різниці температур повітря та поверхні ожеледиці.

Таким чином, необхідна величина струму плавки залежить від виду ожеледиці (ожеледиця або паморозь), матеріалу і перерізу дроту, температури повітря, швидкості вітру і часу, протягом якого необхідно закінчити плавку. Вище зазначалося вплив рельєфу та умов проходження траси на розміри відкладення. Ці умови позначаються і під час плавки ожеледиці. На ділянках піднесених і відкритих вітру втрати тепла конвекції більше і вага ожеледиці буває більшою, отже, в цих місцях плавлення відбувається повільніше. Тому про закінчення плавки треба завжди судити з найважчих ділянок, які можна заздалегідь виявити.

Непоодинокі випадки, коли, в результаті помилки деякі ділянки залишаються неоплавленими і подальше наростання ожеледиці викликає ушкодження. Для отримання необхідних струмів плавки використовуються такі основні способи:

- коротке замикання;
- зустрічне включення фаз;
- перерозподіл навантажень та зміна схеми комутації мережі;
- включення додаткової е. буд. с. в ланцюг з проводом, що прогрівається;
- схема із використанням реактора.

При короткому замиканні лінія підключається до джерела струму та закорочується на іншому кінці. Джерелом струму може бути спеціально виділений генератор, трансформатор або шини системи. Спосіб короткого замикання застосовується на лініях із одностороннім живленням. На лініях з двостороннім живленням він застосовується у разі, коли довжина ділянки, що обігрівається, дає можливість отримати необхідний струм плавки.

Одна із схем плавки ожеледиці показана на рисунку 3.

При значних ожеледях відкладення можливі обриви проводів і поломка деталей опор або самих опор, тому повинні бути вжиті заходи щодо видалення ожеледиці з проводів лінії.

Найбільшого поширення на відключених лініях набули методи плавки ожеледиці струмом однофазного, двофазного та трифазного короткого

замикання. При цьому в ТП повинні бути встановлені спеціальні трансформатори, що використовуються тільки для плавки ожеледиці та забезпечують струм плавки, що дорівнює тривало допустимому струму навантаження даної лінії або перевищує тривало допустимий струм не більше ніж в 1,5 рази.

Тут на іншому кінці лінії штучно влаштовується замикання однієї, двох чи трьох фаз на землю. Напруга повинна бути такою, щоб забезпечити проходження струму плавки, що дорівнює або перевищує тривало допустимий струм лінії..

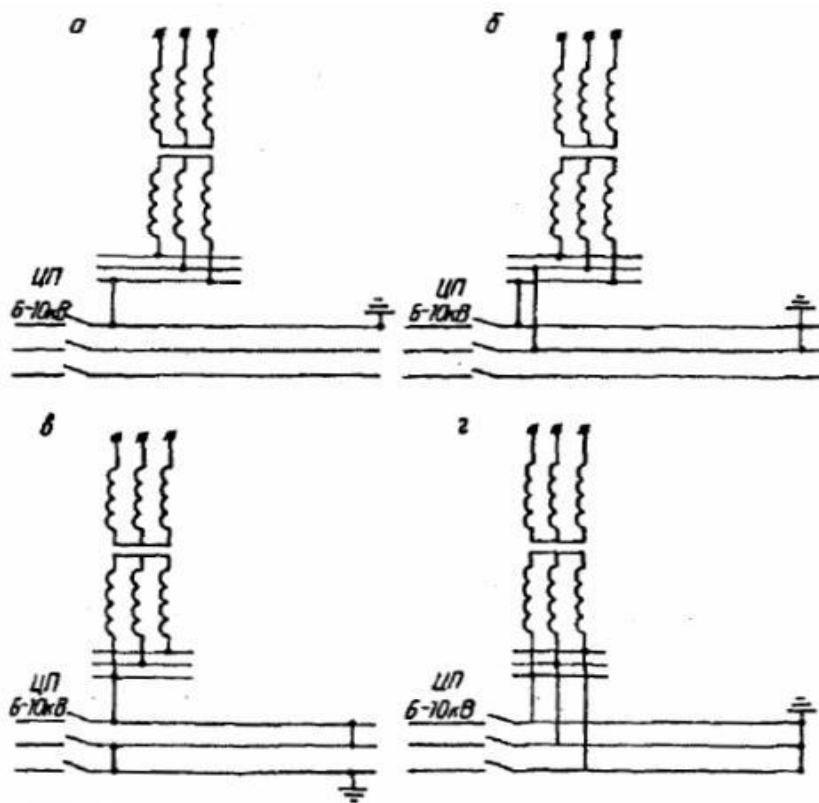


Рисунок 3. Схема плавки ожеледиці: а - з почерговим закороченням однієї фази, б - з почерговим КЗ двох фаз, в - при послідовному з'єднанні двох фаз лінії (у змійку), г - з установкою трифазної короткості в кінці лінії[5]

1.7.2 Профілактичний нагрів проводів електричним струмом

Якщо під час ожеледиці пропускати струм, що нагріває провід до позитивної температури, краплі, що впали на нього, будуть стікати, не замерзнувши, і наростання ожеледиці відбуватися не буде. Як і при плавці, струм профілактичного нагріву залежить від температури повітря, швидкості вітру, матеріалу та перерізу дроту.

Для профілактичного нагріву необхідний менший струм, ніж для плавки, але доводиться нагрівати провід протягом усього періоду ожеледиці. Остання обставина є суттєвим недоліком цього методу. Для отримання необхідних струмів можна застосовувати схеми, що використовуються при плавці, що не вимагають відключення лінії.

1.7.3 Механічні способи видалення ожеледоутворення та інші способи

Ці способи боротьби з ожеледицею засновані на механічному руйнуванні ожеледиці за допомогою удару, тиску або різання.

Використання жердин для оббивки ожеледиці вимагає відключення лінії, якщо не застосовуються спеціальні заходи. Цей спосіб трудомісткий і мало продуктивний.

Певна перевага має спосіб використання канатів із ізолюючих матеріалів. При цьому способі канат перекидається через провід лінії і його пересмикування по дроту дозволяють зруйнувати утворення морози. Лінія тим часом залишається під напругою, тоді як використання звичайних мотузок вимагає її відключення.

З інших способів боротьби з ожеледицею слід згадати про змащування проводів хімічними сполуками, які запобігають змоченню водою поверхні проводу (такі сполуки називаються гідрофобними). Крапля води, що впала на такий провід, не розтікається, а зберігає форму кулі і легко скочується з поверхні.

Застосування твердих гідрофобних матеріалів показало, що вони уповільнюють розвиток ожеледиці у початковий період, а потім їх дія припиняється.

Вище зазначалося, що сильні утворення ожеледиці спостерігаються у районах, розташованих на певних відмітках місцевості над рівнем моря. Вище і нижче за ці позначки потужних утворень ожеледиці не буває. Цю обставину можна використовувати при виборі траси лінії для того, щоб пройти ожеледь. Засобом боротьби з ожеледицею є також прокладання траси лінії в лісі, в захищених від вітру місцях[5].

Висновки по розділу 1

Розглянуто фізичні явища, що впливають на втрати електроенергії на повітряних лініях електропередачі, втрати потужності через корону, методи зниження втрат потужності через корону.

Проведено аналіз умови утворення ожеледиці та заходи боротьби з ожеледицею на лініях електропередачі

2 ВИСОКОВОЛЬТНІ ЛІНІЇ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧ ЯК ДЖЕРЕЛА РАДІОПЕРЕШКОД

Сучасний світ неможливо уявити без електрики, однак розвиток електромереж неминуче спричиняє появу супутніх явищ, які можуть бути як корисними, так і шкідливими.

Вони є електромагнітними полями, що виникають при роботі електричних пристроїв, і можуть поширюватися в атмосферу як у хвиль, так і по провідникам, створюючи високочастотні обурення.

Хоча радіоперешкоди традиційно вважаються шкідливими для систем радіозв'язку, їхнє вивчення відкрило нові можливості для застосування в енергетиці, зокрема, у діагностиці та обслуговуванні ліній електропередачі[8].

2.1. Природа радіоперешкод

Електромагнітні поля в енергосистемах виникають через безліч факторів, кожен із яких може стати причиною радіоперешкод. Серед них особливо вирізняються:

— Грозові розряди

Це короткочасні, але сильні явища, які виникають внаслідок електричної активності в атмосфері.

Грозові розряди часто пов'язані з роботою блискавковідводів та їхньою комутаційною діяльністю. Такі розряди трапляються спорадично, переважно під час гроз, і є потужними джерелами радіоперешкод.

Розряди блискавок здатні генерувати високочастотні електромагнітні імпульси, які поширюються великі відстані і впливають устаткування ліній електропередачі, викликаючи перешкоди у системах радіозв'язку.

— Часткові розряди

Ці процеси набагато більш поширені в енергосистемах і є локалізованими електричними розрядами, що виникають у провідниках, ізоляції та елементах електричного обладнання. Часткові розряди можуть виявлятися у різних формах, включаючи:

- Коронні розряди. Виникають поверхні провідників при перевищенні критичного рівня напруженості електричного поля. Це призводить до утворення локальних електричних розрядів, що супроводжуються характерним свіченням навколо дротів.
- Пробої пошкодженої ізоляції. Такі розряди часто викликані дефектами, мікротріщин або старінням ізоляційних матеріалів. Вони можуть призводити до утворення радіоперешкод, що загрожує стабільній роботі обладнання.
- Ковзаючі розряди. Ці процеси відбуваються на поверхні ізоляційних матеріалів, особливо в умовах високої вологості чи забруднень.

Часткові розряди є не тільки джерелом радіоперешкод, а й важливим індикатором стану обладнання. Їхня інтенсивність і частотний спектр дозволяють судити про наявність дефектів, що активно використовується в діагностиці[6,8].

2.2. Особливості коронного розряду

Коронний розряд особливо цікавий у контексті радіоперешкод, оскільки він супроводжується виділенням електромагнітного випромінювання у широкому діапазоні частот. Цей процес виникає у місцях з високою локальною напруженістю електричного поля, наприклад, на нерівностях або гострих кромках провідників.

Явище коронного розряду супроводжується:

- Видимим свіченням, особливо помітним у темну пору доби, коли навколо провідників можна спостерігати слабе свічення блакитного або фіолетового відтінку.
- Звуковими ефектами, що сприймаються як слабкий тріск чи шум.
- Виділення радіоперешкод в діапазоні частот від декількох сотень кілогерц до десятків мегагерц.

Коронні розряди посилюються за умов підвищеної вологості, дощу чи снігу. Забруднені поверхні провідників та ізоляторів також збільшують ймовірність їх виникнення. Отже, коронні розряди як створюють

радіоперешкоди, а й можуть бути сигналом необхідності профілактичних заходів, вкладених у поліпшення стану устаткування.

Причинами радіоперешкод також можуть бути:

- Розряди на дротах ліній, що викликаються забрудненнями, краплями води або сніговими льодами.
- Ушкодження ізоляторів, такі як іскріння у внутрішніх проміжках, дуги на забруднених поверхнях або витоку струму.
- Нерівності на поверхні провідників, що посилюють локальну напруженість електричного поля.

Цікаво, що такі природні фактори, як зміна атмосферного тиску, температура та вологість повітря можуть значно впливати на інтенсивність радіоперешкод. Наприклад, дощ чи сніг посилюють коронні розряди, особливо на забруднених чи пошкоджених ізоляторах.

Дослідження показують, що рівень радіоперешкод збільшується з діаметром провідника. Товсті дроти створюють більш довгі коронні розряди, ніж тонкі, через більшу площу поверхні. Форма провідника (кругла або сегментована), стан поверхні і навіть рівень забруднень відіграють важливу роль[7].

2.3. Поширення радіоперешкод

Радіоперешкоди можуть поширюватися двома основними способами, кожен із яких залежить від особливостей конструкції та функціонування енергосистеми.

Коли радіоперешкоди передаються проводами, самі лінії електропередачі діють як хвилеводи, передаючи імпульси вздовж своєї довжини. У цьому випадку перешкоди рухаються проводами у вигляді електричних і магнітних хвиль, які поширюються вздовж провідників. Сигнали можуть передаватися на великі відстані лініями електропередачі, особливо якщо ці лінії використовуються для високовольтних передач.

У деяких випадках, особливо при порушенні ізоляції або пошкодження провідників, провідники стають ще ефективнішими провідниками для

електромагнітних імпульсів, що веде до посилення впливу радіоперешкод. Це може призвести до зниження якості роботи обладнання, а також виникнення перешкод в інших сусідніх пристроях і системах.

Іншим способом поширення радіоперешкод є випромінювання їх у вигляді електромагнітних хвиль. У цьому випадку провідники лінії електропередачі стають передаючими антенами, які випромінюють перешкоди в навколишній простір.

Випромінювання електромагнітних хвиль може впливати на пристрої, що знаходяться поблизу лінії, включаючи інші лінії електропередачі, комунікаційні мережі, а також різні електронні пристрої. Ці хвилі можуть поширюватися в атмосфері та впливати на радіочастотні системи зв'язку, що особливо критично у разі чутливих приладів та обладнання.

Ефективність такого випромінювання залежить від багатьох факторів, таких як довжина лінії, частота сигналу і конструкція провідників.

Частота радіоперешкод визначається характеристиками системи, включаючи ємність ізоляторів та хвильовий опір проводів. Чим вище напруга на лінії і чим більша ємність ізоляції, тим ширшим може бути діапазон частот радіоперешкод.

Зазвичай діапазон частот радіоперешкод знаходиться в межах від 500 кГц до 30 МГц. Однак у деяких випадках, наприклад, при використанні високочастотних сигналів або за наявності складних конструктивних особливостей системи частота радіоперешкод може досягати 800 МГц і навіть вище. У таких ситуаціях вплив радіоперешкод на сусідні системи та пристрої може бути особливо значним, що потребує особливої уваги до питань захисту від таких перешкод[7,8].

2.4. Діагностика ліній електропередачі за допомогою радіоперешкод

Радіоперешкоди можуть бути важливим індикатором пошкодження, таких як пошкодження ізоляції, корозія провідників, погані контакти в з'єднаннях, а також інші потенційні проблеми, які можуть виникати під час

експлуатації обладнання. Це дозволяє швидко виявити несправності до того, як вони призведуть до серйозніших наслідків, таких як відмова системи або аварія.

Процес діагностики з використанням радіоперешкод включає декілька ключових етапів, які забезпечують високу точність та ефективність.

Для того, щоб виявити радіоперешкоди та аналізувати їх, використовуються спеціальні прилади, такі як вимірювачі напруженості поля, радіоприймачі та аналізатори спектру. Ці пристрої дозволяють не тільки фіксувати наявність перешкод, а й вимірювати їх характеристики, включаючи частотний спектр та інтенсивність.

Найбільш простим та доступним пристроєм є радіоприймач з амплітудною модуляцією, який оснащений спрямованою антеною. Цей пристрій дозволяє визначати напрямок джерела перешкод та локалізувати його на конкретній лінії чи ділянці обладнання. Такий пристрій допомагає швидко знайти проблемні місця та мінімізувати час, витрачений на діагностику.

Локалізація пошкодження є важливим етапом процесу діагностики. За допомогою спрямованих антен та тепловізорів можна значно звузити область пошуку, що значно прискорює роботу з виявлення проблем. Наприклад, пошкоджений ізолятор може бути точно ідентифікований завдяки характерному тепловому випромінюванню, яке виникає у місці пошкодження.

Тепловізори дозволяють виявити навіть найдрібніші витoki енергії, що особливо важливо для запобігання потенційним аваріям. У поєднанні з радіоперешкодами тепловізори надають високоефективний інструмент для діагностики прихованих проблем, які можуть бути не видно неозброєним оком.

Сучасні методи діагностики, що використовують радіоперешкоди, надають не тільки можливості для оперативного виявлення несправностей, а й дозволяють значно покращити планування профілактичних робіт.

Регулярне використання цих методів допомагає передбачити можливі збої в системі, що дає можливість заздалегідь вживати заходів щодо їх усунення. Це не тільки підвищує надійність роботи обладнання, а й значно

знижує ризик аварій, покращуючи загальну безпеку та ефективність експлуатації електричних та електронних систем. Впровадження таких технологій сприяє зменшенню простою обладнання та збільшенню терміну служби електроустаткування.

2.5. Метод Коске: у роки минулого та перспективи майбутнього

Цікаво відзначити, що метод локалізації ушкоджень по радіоперешкодах був розроблений ще в 1930-ті роки інженером Ральфом Коском. Цей підхід дозволяв ефективно та швидко визначати місця пошкоджень в електричних системах, використовуючи радіоперешкоди, що виникають через несправності.

Тоді метод був дуже перспективним і широко застосовувався у промисловості для діагностики різних типів устаткування. Однак зі зростанням кількості радіоджерел і поліпшенням технологій у середині ХХ століття, цей метод став менш ефективним через високу щільність радіочастотних сигналів, що призвело до його тимчасового забуття.

З розвитком електроніки, а також появою нових вимірювальних пристроїв, таких як селективні мікровольтметри та аналізатори спектру, метод Коске отримав друге життя. Ці нові технології дозволили більш точно та ефективно відстежувати радіоперешкоди, забезпечуючи можливість їх використання навіть у складних та високонавантажених системах.

Сьогодні метод Коске знову стає актуальним, оскільки він може запропонувати недорогу та надійну альтернативу сучасним діагностичним технологіям. Особливо це важливо в умовах, де використання складних і дорогих рішень є економічно недоцільним, таких як у невеликих або старих промислових установках, де потрібні мінімальні витрати на обладнання та обслуговування.

Крім того, з розвитком обчислювальних технологій, метод Коске може бути інтегрований з сучасними системами аналізу, що дозволяє значно підвищити точність та швидкість діагностики. Це відкриває нові можливості

для його застосування в різних областях, від енергетики до телекомунікацій, де локалізація пошкоджень і своєчасне обслуговування обладнання грають ключову роль.

Висновки по розділу 2

Радіоперешкоди в лініях електропередачі - це явище, яке тривалий час вважалося лише джерелом проблем для радіозв'язку. Однак їх вивчення відкриває нові перспективи у галузі діагностики та управління енергосистемами. Сучасні методи виявлення радіоперешкод дозволяють не лише визначати несправності, а й значно скорочувати витрати на експлуатацію та обслуговування енергосистем.

В умовах зростання інтересу до енергоефективності та сталого розвитку повернення до вивчення таких методів, як метод Коске, може стати важливим кроком на шляху до покращення надійності та безпеки електромереж.

3. ПРОПОЗИЦІЇ ЩО ДО РОЗРОБКИ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ НАПРУГИ 110 КВ

3.1 Функціональна схема діагностичного пристрої технічного стану ЛЕП

У Поліському національному університеті розроблена функціональна схема пристрою діагностики технічного стану високовольтних ліній

електропередачі, який використовує хвильовий метод знаходження місця пошкодження.

На рисунку 4 показана функціональна схема діагностичного пристрої технічного стану ЛЕП[9], яка складається:

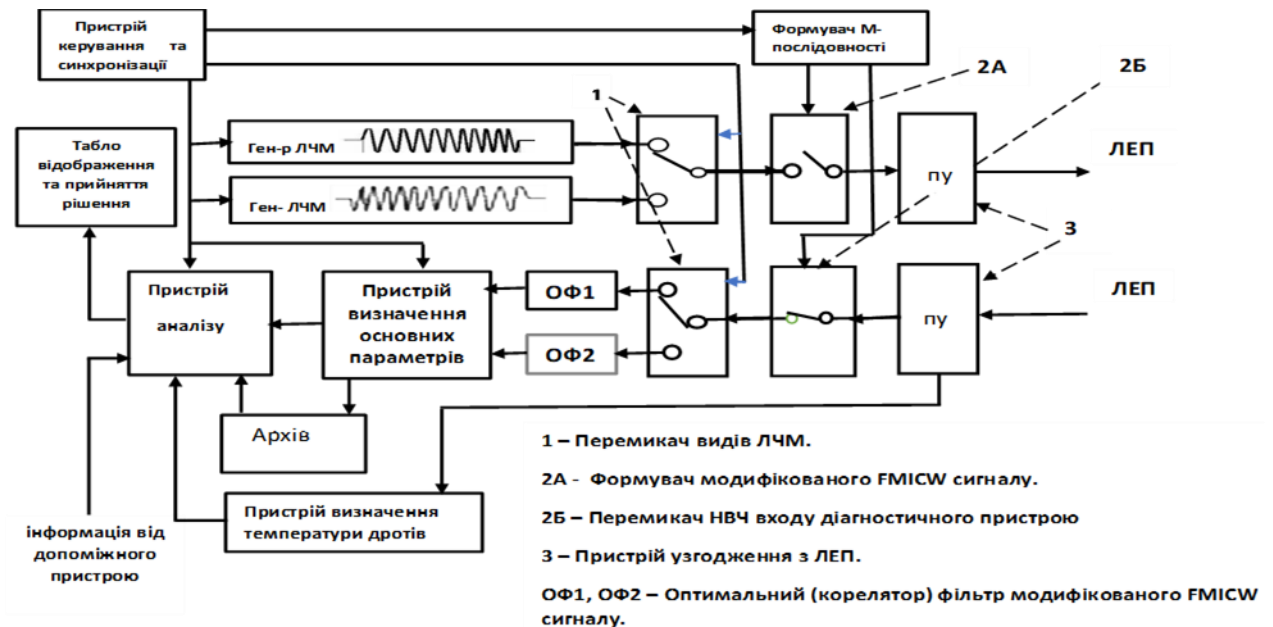


Рисунок 4. Функціональна схема діагностичного пристрої технічного стану ЛЕП.

- Пристрій керування та синхронізації призначений для управління всіх функціональних складових діагностичного пристрою в різних режимах роботи.
- Формувач М-послідовності. Формує М-послідовності для формування модифікованого FMICW сигналу.
- Перемикач НВЧ входу діагностичного пристрою - для захисту входу діагностичного пристрою від зондуєчого сигналу та його відкриття при отримання відбитих сигналів.
- 2 генератора ЛЧМ сигналу з різним законом зміни частоти.
- 2 генератора ЛЧМ сигналу з різним законом зміни частоти.

- Табло відображення та прийняття рішення. Відображає технічний стан ЛЕП. При перевищенні допусків контрольованих параметрів видається звукова та візуальна сигналізація.
- Перемикач видів ЛЧМ сигналів – перемикає подачу ЛЧМ з різними законами зміни частоти при частотних вимірювань в умовах диспергуючого середовища ЛЕП[10].
- ПУ - пристрій узгодження з ЛСП. Призначений для з'єднання пристрою з ЛЕП, фільтрація сигналів.
- ОФ1, ОФ2 – оптимальна обробка сигналу (отримання автокореляційної функції, стиснення сигналу за часом).
- Пристрій визначення основних параметрів. Кожному місцю неоднорідності визначається час запізнювання відбитого сигналу та його амплітуда, а також відношення значень амплітуд відбитих сигналів на вході та кінця кожної ділянки.
- Пристрій аналізу. Порівнює отримані результати вимірювання з архівними даними, оцінює отримані результати (допуски), визначає технічний стан ЛЕП.
- Архів призначений для зберігання попередньої інформації.
- Пристрій визначення температури дротів ЛЕП призначений для аналізу отриманих сигналів для визначення температури дротів.
- Інформація від допоміжного пристрою необхідна для визначення місць неоднорідності, які знаходяться на розгалуженнях.

За своїми технічними характеристиками значно кращий ніж сучасні аналоги це:

- виявлення несправності та ожеледиці на окремих ділянках розгалужених ЛЕП;
- мала вихідна потужність;
- значне відношення С/Ш дає можливість діагностувати якість ЛЕП великої протяжності з великою кількістю розгалужених ділянок та покращити точність визначення параметрів;

- діагностичний пристрій може стати основною клітиною для створення сучасного всеукраїнського диспетчерського пункту аналізу технічного стану та управління лініями енергопостачання[9].

3.2 Блок схема пристрою визначення місця коронного розряду на ЛЕП

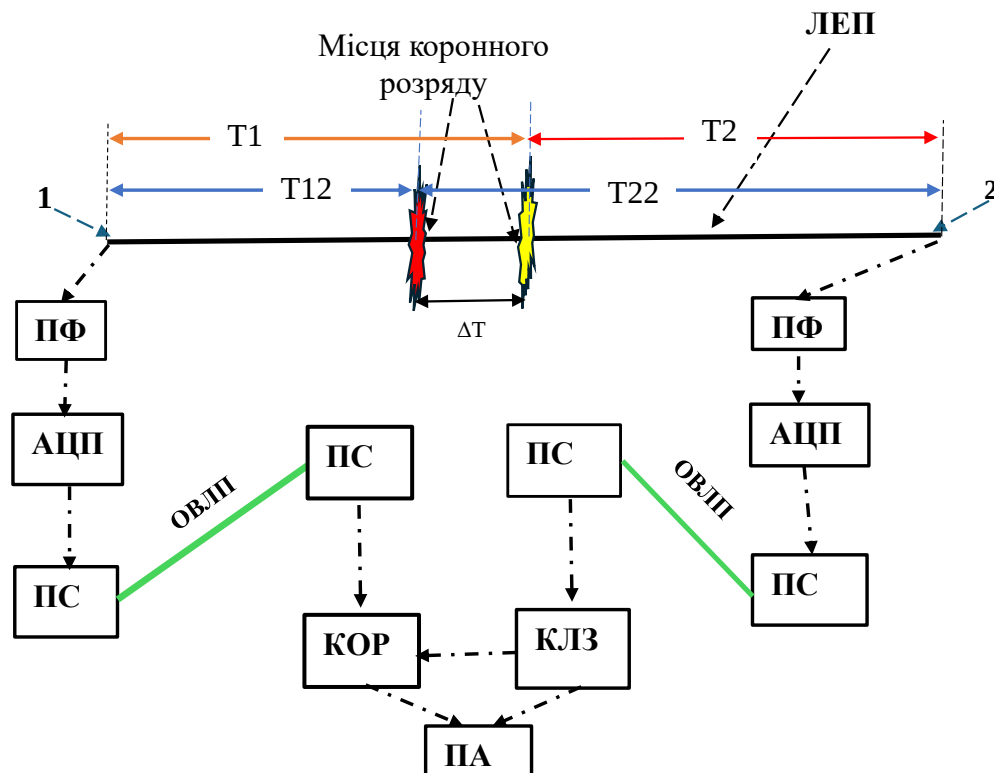


Рисунок 5. Визначення місця коронного розряду кореляційним методом.

На рисунку 5 показана блок схема пристрою визначення місця коронного розряду на ЛЕП.

На рисунку позначено:

ПФ – Смуговий фільтр. Пропускає діапазон частот 20-30 мГц .

АЦП – Аналого-цифровий перетворювач.

ПС – Перетворювач сигналу для передачі цифрового сигналу по оптичним каналам зв'язку та зворотно.

КЛЗ – Керована цифрова лінія затримки.

КОР – Кореляційний пристрій.

ПА – Пристрій аналізу.

T1 – Часова відстань від місця корони, яка знаходиться на середині ЛЕП, до початку ЛЕП.

T2 – Часова відстань від місця корони, яка знаходиться на середині ЛЕП, до кінця ЛЕП.

T12 – Часова відстань від місця корони, довільне розташованого на ЛЕП, до початку ЛЕП.

T22 – Часова відстань від місця корони, довільне розташованого на ЛЕП, до кінця ЛЕП.

$$\Delta T = T22 - T12 \text{ або } \Delta T = T12 - T22$$

ОВЛП – Оптиковолоконна лінія передачі.

Визначення місця знаходження коронного розряду проходить таким чином.

ЛЕП є довга лінія, антена. Крім того що вона передає електроенергію, частота якої 50 Гц, як антена приймає різні електромагнітні коливання, а завдяки високій напрузі, несприятливі погодні умови та погіршення фізичних властивості елементів, які входять до складу ЛЕП з'являються негативні явища у вигляді коронного розряду, пробій ізоляторів - які розглянуто у другій главі.

Кожні електромагнітні сигнали мають свій неповторний частотний спектр. Навить частотний спектр одного виду відрізняються друг від друга за часом. Тому для визначення місця коронного розряду на ЛЕП потрібно використовувати кореляційний метод.

З входу та виходу ЛЕП на полосовий фільтр поступає суміш електромагнітних сигналів (природні, промислові, напруга 50 Гц, від коронного розряду та інше).

ПФ пропускає тільки енергетичний спектр тих сигналів, які можуть увійти в діапазон частот 20-30 МГц, решта не проходить.

Далі в АЦП суміш аналогових сигналів перетворюються в цифровий код згідно теореми Котельникова. Далі обробка сигналів буде проводиться цифровій формі.

ПС перетворює цифровий сигнал на сигнал, який може передаватися по оптоволоконній лінії передачі. З ОВЛП поступає на ПС де суміш сигналів відновлюється і може використовуватися для подальшої обробці цифровими пристроями.

Як бачимо на рисунку 5 сигнал з початку ЛЕП поступає зразу на корелятор, а з кінця ЛЕП поступає на КЛЗ.

На КЛЗ враховується часова затримка сигналу який проходить від початку (кінця) ЛЕП до корелятора.

КЛЗ зміщує спектр сигналу, якій прийшов від кінця ЛЕП таким чином, як що сигнал співпав з сигналом, якій прийшов з входу ЛЕП, в КОР, коли збігаються сигнали, то значно підвищується амплітуда, яка перевищує заданий поріг і подається команда на КЛЗ на видачу час-різницю між сигналами $\Delta T = T_{22} - T_{12}$ або $\Delta T = T_{12} - T_{22}$.

Знаючи що сигнал приходить з середини ЛЕП то КЛЗ видає $\Delta T = 0$.

Як що $\Delta T \neq 0$, то можна знайти місце коронного розряду по формулі:

$$L_{кр} = L + V \cdot (\pm \Delta T)$$

Де $L_{кр}$ - Відстань від началу ЛЕП до місця коронного розряду;

L - Відстань від началу ЛЕП до середини ЛЕП;

V - Швидкість розповсюдження електромагнітної хвилі продовж ЛЕП.

ВИСНОВКИ ПО РОЗДІЛУ 3

В розділі пропонується введення до діагностичних засобів діагностичного пристрої технічного стану ЛЕП, пристрою визначення місця коронного розряду на ЛЕП, які значно покращать надійність роботи обладнання та скоротити витрати.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В роботі розглянуто фізичні явища, що впливають на втрати електроенергії на повітряних лініях електропередачі, втрати потужності через корону а також методи зниження втрат потужності через корону.

Проведено дослідження умови утворення ожеледиці та поморозі на проводах ліній електропередачі та боротьба з ними.

У другій главі розкрито природа радіоперешкод та їх поширення, особливості коронного розряду та можливість діагностики ліній електропередачі за допомогою радіоперешкод.

Третя глава присвячена пропозиціям що до розробки системи моніторингу повітряних ліній електропередачі напруги 110 кВ. Пропоновано функціональна схема діагностичного пристрої технічного стану ЛЕП, блок схема пристрою визначення місця коронного розряду на ЛЕП.

Пропоновані пристрої можуть стати основною клітиною для створення сучасного всеукраїнського диспетчерського пункту аналізу технічного стану та управління лініями енергопостачання, створення розумних систем енергосистем.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Втрати потужності через корону
<https://electricalschool.info>
2. МЕТОДИКА по визначенню втрат електроенергії у трансформаторах і лініях електропередач <https://ips.ligazakon.net/document/FIN7392>
3. «Техніка високих напруг» для студентів факультету прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
<https://elartu.tntu.edu.ua>

4. Фурсанов М.І., Горудко П.С.. Ожеледні аварії на ЛЕП – причини появи та способи запобігання. 2017 р. Електронний ресурс. URL: https://webcache.googleusercontent.com/https://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/54232/Gololednye_avarii_na_LEP_prichiny_poyavleniya_i_sposoby_predotvrashcheniya_cd=1&hl=ua&ct=clnk&gl=ua
5. Каганов В. І. Як розплавити лід на проводах ЛЕП. Журнал «Наука і життя». Електронний ресурс. URL: <https://www.nkj.ru/archive/articles/14553/>
6. ЕЛЕКТРИЧНІ СИСТЕМИ ТА МЕРЕЖІ КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ <https://eprints.kname.edu.ua>
7. Мамчур Н. Д., Муравьёв А. В. Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт им. Игоря Сикорского», Украина Методы обнаружения и борьбы с 5. коронными разрядами на высоковольтном оборудовании
8. Високовольтні лінії електропередачі, як джерела радіоперешкод <https://electricalschool.info>
9. ГОНЧАРЕНКО Ю. П., КОВБАСЮК С. В., ПОЛЕЩУК І. І., Поліський національний університет ОБҐРУНТУВАННЯ СТРУКТУРИ ПРИСТРОЮ ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ <http://journals.khnu.km.ua>