

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний
Кафедра механічної та електричної інженерії

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи на здобуття ступеня вищої освіти

бакалавр

на тему: «Методи визначення параметрів та пошуку місць пошкоджень в
кабельних лініях»

КРБ.141ЕЕбд_41.03.00.00.000 ПЗ

Виконав: здобувач вищої освіти
за освітньо-професійною програмою
«*Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка*»
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
ступеня вищої освіти *бакалавр*
групи *141ЕЕбд_41*
ВИЗІР Владислав

Керівник: канд. техн. наук, доцент
БИЧКОВ Ярослав

Полтава – 2025 р

ВСТУП

Кабельні лінії є однією з ключових складових, що забезпечують надійне постачання електроенергії споживачам. Їх прокладають із застосуванням різних інженерних споруд – траншей, тунелів, блоків тощо – щоб виконати як технічні, так і архітектурні вимоги. Саме це визначає особливості їх експлуатації. Крім того, у порівнянні з повітряними лініями електропередачі, вони мають вищу вартість, вимагають участі висококваліфікованих спеціалістів і потребують використання складного та дорогого обладнання для обслуговування й проведення ремонтних робіт.

Застосування методів діагностики дає змогу здійснювати відновлювальні заходи на основі реального технічного стану кабельних мереж, тобто тоді, коли порушення в конструкції досягають рівня, за якого подальша експлуатація може спричинити відмову окремих елементів.

Сучасна енергетична інфраструктура неможлива без надійної та безперебійної роботи кабельних ліній електропередачі, які відіграють ключову роль у розподілі електроенергії як у міських, так і в сільських мережах. Проте зростаюче навантаження на електричні мережі, зношеність частини інженерних систем, а також вплив зовнішніх чинників призводять до зростання кількості пошкоджень кабельних ліній.

Пошкодження кабельних ліній є однією з найпоширеніших причин порушень у роботі електромереж. Вони можуть викликатися як природними процесами – корозією, замоканням, механічними навантаженнями, так і людським фактором – неякісним монтажем, порушенням правил експлуатації чи випадковими діями під час земляних робіт. Наслідки таких пошкоджень можуть бути як технічного, так і економічного характеру, включаючи тривалі перерви в електропостачанні, вихід з ладу обладнання, збільшення витрат на ремонтно-відновлювальні роботи.

Актуальність теми зумовлена необхідністю підвищення надійності електричних мереж, зменшення експлуатаційних втрат та впровадження сучасних

методів діагностики й локалізації пошкоджень. У цій кваліфікаційній роботі розглянуто основні види пошкоджень кабельних ліній, їх причини, методи виявлення та профілактики, а також запропоновано технічні рішення для підвищення ефективності експлуатації кабельних мереж.

Об'єкт дослідження: методи визначення параметрів та пошуку місць пошкоджень в кабельних лініях.

Мета роботи дослідити методи визначення параметрів та пошуку місць пошкоджень в кабельних лініях та визначити технічні засоби для пошуку місць пошкоджень в кабельних лініях 6-35 кВ.

Об'єкт розробки кабельні лінії напругою 6-35 кВ, технічні засоби для пошуку місць пошкоджень.

Предмет розробки – електричні схеми та технічне забезпечення діагностування та виявлення пошкоджень кабельних ліній.

Методика досліджень системний аналіз можливостей та засобів забезпечення безаварійної роботи кабельних ліній напругою 6-35 кВ. Розрахунок основних показників для реалізації діагностики місця ушкодження, графічне відображення технологічних процесів, визначення параметрів засобів діагностики, безпека технічного обслуговування електроустановок з напругою понад 1000 В.

Практичні результати роботи – результати розробленої проектної документації можуть бути використані при діагностиці та визначенні місця ушкодження на підприємствах транспортування та розподілу електричної енергії.

1 ХАРАКТЕРИСТИКИ КАБЕЛЬНИХ МЕРЕЖ

У багатьох ситуаціях механічні пошкодження кабелю, що виникають під час його транспортування або прокладання, а також у період експлуатації, важко виявити. Їх не завжди можливо ідентифікувати за зовнішніми ознаками, і часто вони залишаються непоміченими навіть під час випробувань підвищеною напругою перед уведенням лінії в роботу. Згодом, під впливом електричного поля, підвищеної температури, вологи та інших несприятливих умов, ізоляція в пошкодженій ділянці поступово втрачає свої властивості, що призводить до електричного пробоя. Аналогічне явище може мати місце в з'єднувальних або кінцевих муфтах, якщо їхній монтаж виконано з порушенням вимог або з недостатньою якістю.

Для запобігання пробоям ослаблених ділянок кабельної лінії під час її експлуатації, що може призвести до раптового припинення електропостачання споживачів, слід періодично виконувати випробування таких ліній підвищеною напругою постійного струму.

Зазвичай профілактичні випробування кабельних ліній слід проводити одночасно з ремонтними роботами на обладнанні розподільчих пристроїв, розташованих на приймальному та живильному кінцях лінії. Водночас такі ремонти, якщо відсутнє резервне електропостачання, мають виконуватися у строки, погоджені з користувачами або іншими зацікавленими сторонами. За таких умов проведення випробувань не впливає на роботу електрообладнання споживача.

Випробування кабельних ліній здійснюються згідно з вимогами СОУ-Н ЕЕ 20.302:2007 «Норми випробування електрообладнання (нова редакція 2020)» [1]. Окрім планових перевірок, які виконуються з визначеною періодичністю, додаткове тестування необхідне у разі підозри на можливе пошкодження ліній. Також такі перевірки слід проводити після завершення ремонтних робіт на кабельній ділянці.

Силові кабелі напругою до 35 кВ мають високу електричну міцність. За

умови дотримання всіх вимог ПУЕ [2] під час будівництва кабельної лінії, відсутності пошкоджень при зберіганні, транспортуванні та прокладанні, а також за якісного монтажу з'єднувальних і кінцевих муфт, така лінія може надійно функціонувати протягом тривалого періоду. За умови належного контролю її стану під час експлуатації, захисту від механічних впливів і дотримання допустимого температурного режиму, вона забезпечить безаварійну роботу. Періодичність випробувань для кабелів зі строком служби понад 15 років визначається технічним керівником відповідного енергооб'єкта.

Для кабельних ліній з напругою 6—10 кВ, які експлуатуються понад 15 років і мають кінцеві затулки типу КВВ, КВБ, КВЕ кустарного виробництва, технічний керівник енергооб'єкта має право самостійно визначати строки проведення випробувань.

Також доцільно для ліній зі зношеною ізоляцією або строком служби понад 30 років, а також для тих, на яких розміщено 10 і більше з'єднувальних муфт на кожен кілометр, що заплановані до реконструкції чи виведення з експлуатації протягом найближчих п'яти років, передбачати збільшені інтервали між випробуваннями. При цьому слід враховувати надійність енергопостачання споживачів у разі можливих пошкоджень таких ліній.

Питання щодо проведення позапланових випробувань кабельних ліній після виконання ремонтів або земляних робіт, які супроводжуються відкриттям трас, вирішується керівником енергооб'єкта, відповідального за експлуатацію електромереж.

1.1 Характеристика кабельних мереж 10 – 35 кВ

Кабельні мережі напругою 10–35 кВ функціонують з ізольованою нейтраллю. Для компенсації ємнісного струму при однофазному замиканні на землю в нейтраль вмикають дугогасильні котушки. Такі мережі називають компенсованими. Лінії 10–35 кВ характеризуються такими особливостями:

1. У міських умовах зазвичай застосовують кабельні лінії (КЛ), у сільських – повітряні (ПЛ). Існують також комбіновані ділянки, де одночасно присутні КЛ та ПЛ, які найчастіше розділяються неавтоматизованими комутаційними пристроями, такими як роз'єднувачі.

2. Окрім релейного захисту, що відключає вимикачі при міжфазних коротких замиканнях, застосовується також захист від однофазних замикань на землю (так звана «земляна сигналізація»), який працює в режимі подачі сигналу.

На рисунку 1.1 зображено електричну мережу з номінальною напругою 10 кВ. У великих містах на центральних підстанціях (ЦП) кількість кабелів живлення може досягати кількох десятків. Для цієї схеми центральною виступає підстанція 110/10 кВ.

Живильні кабелі з'єднують центральний пункт (ЦП) із розподільними пунктами (РП), які розташовані в районах концентрації електричних навантажень міста. Від кожного РП відгалужуються так звані напрямки, що включають електричні лінії та трансформаторні підстанції (ТП), які з'єднані між собою за допомогою роз'єднувачів. У більшості випадків кабельна лінія (КЛ) об'єднує між собою два напрямки, що належать до різних РП. Наприклад, на рисунку 1.1 напрямком від РП1 до ТП6 має з'єднання з напрямком від РП2 до ТП1. Стрілками позначені точки, у яких виконується розподіл або розрив мережі. У наведеному прикладі місце такого розподілу розташоване на ТП3, на ділянці КЛ у бік ТП4.

Автоматичні вимикачі з релейним захистом встановлюються лише в центрах живлення та розподільчих пунктах. У трансформаторних підстанціях, окрім роз'єднувачів у колі підключення трансформаторів, передбачено також високовольтні плавкі запобіжники (ПП). У деяких випадках для трансформаторів потужністю 750 кВА і вище в колах застосовують автоматичні вимикачі з релейним захистом.

У разі пошкодження будь-якої кабельної лінії автоматично спрацьовує вимикач відповідного напрямку. Наприклад, при виникненні несправності на відрізьку між ТП6 і ТП5 відключається вимикач на лінії РП1—ТП6. В результаті знеструмлюється ділянка між ТП4 і ТП6, тоді як відрізок ТП1—ТП3 переходить на

живлення від РП2. Така сама ситуація може виникнути, якщо при аварії трансформатора, наприклад на ТП4, не відбудеться спрацювання запобіжника. Параметри запобіжників і налаштування захисту трансформаторів повинні бути узгоджені з параметрами захисту ліній. Проте в таких мережах доводиться враховувати ймовірність неселективного відключення.

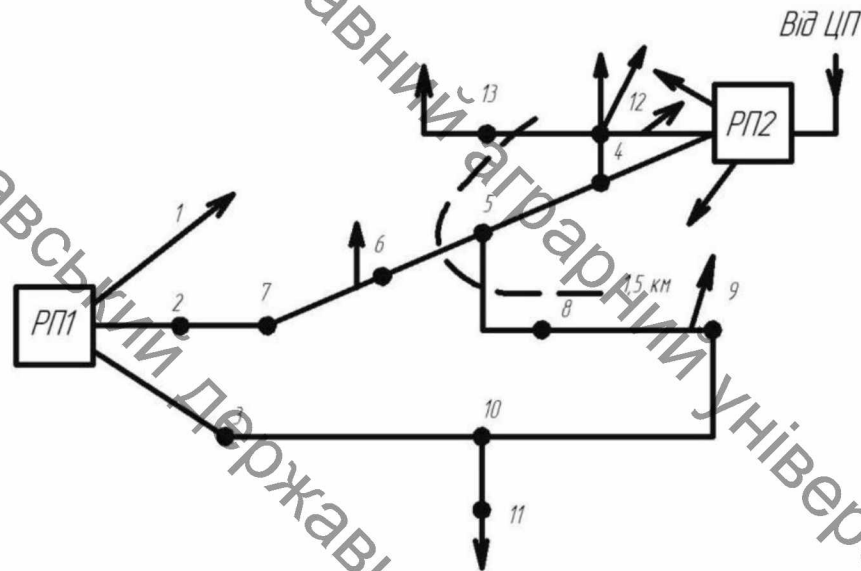


Рисунок 1.1 – Схема розгалуженої ділянки мережі

У разі короткого замикання на живильних кабельних лініях, їхнє вимкнення здійснюється автоматичними вимикачами з обох кінців. Живлення шин розподільчого пункту в такій ситуації забезпечується або другим кабелем живлення, або резервною лінією від сусіднього РП, що підключається за допомогою пристрою автоматичного введення резерву (АВР).

Структура ліній та трансформаторних підстанцій зазвичай має вигляд дерева і може бути значно розгалуженою. Приклад кількох таких взаємопов'язаних напрямків показано на рисунку 1.1. У загальному випадку, визначення пошкодженого елемента є досить складним завданням.

Першою та найважливішою умовою є якнайшвидше відновлення електропостачання вимкнених струмоприймачів при одночасному забезпеченні безперебійної роботи інших. Інакше кажучи, основним показником ефективності

методики виступає зменшення обсягів недопоставленої електроенергії споживачам.

Наступною вимогою є скорочення витрат часу, трудових ресурсів і матеріальних засобів, необхідних для проведення пошуку. При цьому дотримання норм техніки безпеки та правил пожежної безпеки залишається обов'язковою умовою.

Для визначення несправного елемента застосовують: показчики короткого замикання (ПКЗ); пристрої сигналізації на замикання на землю (ПЗС); мегаомметри; мобільні установки для випробувань підвищеною напругою; переносні індикатори пошкоджень.

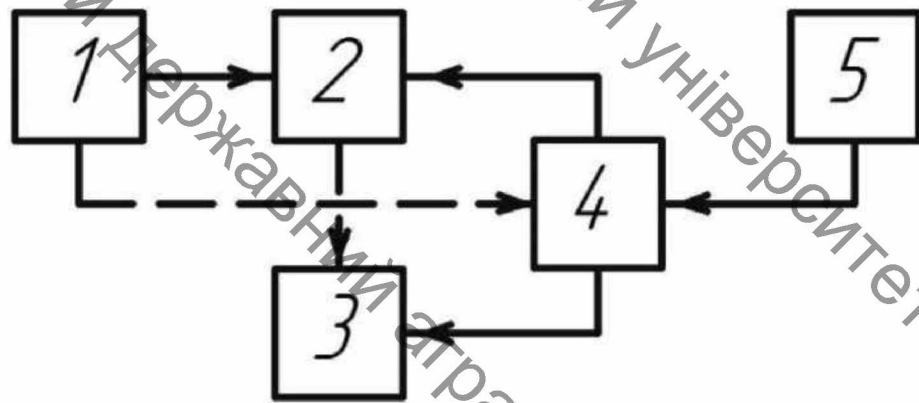


Рисунок 1.2 – Структурна схема пристрою ПКЗ.

Індикатори короткого замикання, призначені для мереж із напругою 10–35 кВ, активуються при перевищенні струму короткого замикання встановленого порогу [3]. На відміну від «спрямованих» пристроїв, такі індикатори доцільно класифікувати як «струмові». Окрім цього, вони здатні вказувати напрямок до зони пошкодження. Встановлюються в ключових точках мережі, й ті, що зафіксували подію, демонструють маршрут проходження струму КЗ. Поріг їхнього спрацювання має перевищувати робочі струми навантаження, але залишатися нижчим за мінімальні значення аварійного міжфазного струму.

Структурну схему ПКЗ зображено на рис. 1.2. Вимірювальний орган 2 із заданим порогом приєднаний до струмових давачів 1. Коли струм перевищує

встановлене значення, орган 2 активується, змінюючи положення індикатора 3. Повернення індикатора та вимірювального органу у вихідний стан здійснюється блоком відновлення 4 після усунення несправності. Існує три варіанти відновлення: через давач напруги 5 (оскільки на кабельній лінії знову з'являється напруга), за допомогою струмового давача, що фіксує навантажувальний струм КЛ, або вручну. Ручний спосіб застосовується рідко через високе навантаження на персонал.

Як струмові давачі зазвичай використовуються трансформатори струму, встановлені у двох фазах КЛ, або спеціальні магнітні сенсори, розташовані на певній ізоляційній відстані від провідників [3]. Напруга надходить до покажчика через ємнісний зв'язок, який може бути реалізований двома способами: або через додатковий ізольований провід, натягнутий у прольоті повітряної лінії, або через підключення до робочого провідника за допомогою підвісного ізолятора. У ролі вимірювального органу найчастіше використовуються електромагнітні реле.

Індикатори короткого замикання можуть монтуватися як на трансформаторних, так і на розподільчих пунктах. Як свідчать джерела [4], встановлення таких пристроїв лише на вузлових ТП у мережах напругою 6–10 кВ дозволяє зменшити тривалість пошуку місця аварії на 28 %.

1.2 Види пошкоджень КЛ

Пошкодження кабельних ліній поділяються на дві основні категорії – аварійні та спричинені впливом підвищеної напруги під час випробувань. До першої групи, відповідно до характеру ушкоджень, належать:

а) однофазні замикання на землю, які виникають через електричний пробій при дії робочої напруги. Такі замикання бувають двох типів – стійкі та нестійкі.

Стойкі виникають і зберігаються протягом певного часу в мережах з компенсованою нейтраллю. Їх відключення здійснюється вручну черговим персоналом за сигналами захисту від замикань на землю. Для них характерний

дуже низький опір у місці переходу фази на землю, що обумовлено приварюванням струмопровідної жили до оболонки під дією емнісного струму. Імпульси цього струму, які виникають до моменту спрацювання дугогасного реактора, можуть досягати кількох тисяч ампер із тривалістю 5–10 мс. Такі імпульси можуть повторюватися багаторазово, поки не станеться приварювання жили або не спрацює захист унаслідок пробією ізоляції на іншій фазі, що призводить до короткого замикання. Зазвичай стійке замикання на землю виникає внаслідок електричного пробією на всій ділянці кабелю, а іноді також через його безпосереднє механічне ушкодження. Нестійкі замикання (так звані запливаючі пробією), які проявляються періодичною появою струму на землю, після вимкнення пошкодженої лінії зазвичай легко переходять у стійкі з низьким перехідним опором, якщо їх «допалити» високовольтною випробувальною установкою. Виняток становлять ушкодження у водному середовищі та іноді в сполучних муфтах, які зумовлюють повторювані запливаючі пробією.

б) усі типи коротких замикань – як двофазні, так і трифазні, що супроводжуються пробією на землю;

в) розтяжки однієї або кількох фаз без замикання або з однофазним замиканням.

Подібні розтяжки зазвичай виникають у з'єднувальних муфтах 0,4 кВ і 6–10 кВ для парних кабелів, коли один із них змушений приймати на себе струм іншого, в якому виникла розтяжка. Таку ситуацію можна виявити при вимкненні одного з кабелів або за наявності несиметричного розподілу навантаження за струмами. У практиці часто застосовують паралельне підключення вторинних обмоток трансформаторів нульової послідовності, що ускладнює виявлення подібних пошкоджень.

Друга група – це дефекти, виявлені під час профілактичних випробувань підвищеною напругою. На початковому етапі всі ці несправності мають великий перехідний опір, який зазвичай легко знижується при дії постійного струму.

До особливих вимог, що стосуються визначення місця пошкодження (ВМП) ліній електропередач незалежно від їх типу та класу, належать висока швидкість і

точність. Найоперативнішим є дистанційний метод ВМП, суть якого полягає у визначенні відстані до точки пошкодження від одного або обох кінців лінії. Проте варто зазначити, що точність таких дистанційних вимірювань є обмеженою.

Для кабельної лінії (КЛ), прокладеної в ґрунті, складно з належною точністю визначити місце для розкопування, навіть якщо відстань до кінця лінії виміряно дуже точно. На кресленнях та у виконавчій документації відображаються координати характерних елементів траси КЛ – таких як повороти, муфти з'єднання тощо – лише у горизонтальній площині. Насправді ж прокладка КЛ змінює своє положення і по вертикалі, що документацією не враховується. Через це, навіть за наявності технічної інформації у доброму стані, точно співвіднести відстань до кінцевої точки з конкретною ділянкою на місцевості з точністю понад 1–2% неможливо. Наприклад, для КЛ завдовжки 3000 м це означає абсолютну похибку в межах ± 30 –60 м. За умов наявності асфальтового покриття виконання розкопок протяжністю 60–120 м практично неможливе.

Висновок до розділу 1

Механічні пошкодження кабельних ліній часто залишаються непоміченими, але з часом можуть призвести до електричного пробоя. Щоб запобігти аваріям, необхідно періодично проводити випробування кабелів підвищеною напругою, особливо після ремонтів або за наявності підозри на пошкодження. Строки та періодичність таких випробувань визначаються відповідно до нормативів або за рішенням технічного керівника енергооб'єкта, з урахуванням технічного стану лінії, умов експлуатації та важливості забезпечення безперебійного електропостачання.

Кабельні мережі напругою 10–35 кВ працюють з ізольованою нейтраллю і часто мають компенсовану схему з дугогасильними котушками. У міських умовах застосовують кабельні лінії, у сільських – повітряні. Захист мереж забезпечують релейні пристрої, запобіжники та індикатори коротких замикань (ПКЗ), що значно пришвидшують виявлення місця аварії.

Основні типи пошкоджень: однофазні замикання на землю, міжфазні короткі замикання та механічні розтяжки. Пошкодження також можуть виявлятися під час профілактичних випробувань підвищеною напругою.

Найважливішими вимогами до системи є швидке виявлення несправностей і відновлення живлення, мінімізація обсягів недопоставленої енергії, економія ресурсів, і дотримання безпеки. Точне визначення місця пошкодження вимагає сучасних методів і пристроїв, але залишається складним завданням, особливо для кабелів, прокладених у ґрунті.

2 МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЯ УШКОДЖЕННЯ

2.1 Метод вимірювання мостами

Визначення електричного опору металевих складових конструкції кабелю здійснюється відповідно до вимог ДСТУ 7229-76, із застосуванням постійного струму. Такий метод забезпечує високу точність та є досить простим у виконанні [5].

Температура виробу під час проведення вимірювань повинна бути визначена з максимально допустимою похибкою $\pm 2^\circ\text{C}$. Для кабелів з великим діаметром перед тестуванням слід витримати їх за температурних умов, у яких буде проводитись вимір, протягом кількох годин. Якщо кабель намотаний на барабани, витримка повинна тривати декілька діб.

У разі якщо температура T під час вимірювання відрізняється від стандартної (20°C), після отримання результатів виконується приведення значення опору до температури 20°C :

$$R_{20} = \frac{R_T}{1 + TK_\rho(T - 20)} \quad (2.1)$$

де TK_ρ – середній температурний коефіцієнт опору. Перед проведенням вимірювань слід заздалегідь встановити очікуване значення опору, скориставшись стандартними таблицями або виконавши попередній розрахунок:

$$R_{20} = \frac{k\rho l}{S} \quad (2.2)$$

де k - коефіцієнт скрутки дротів (1,02-1,03);

ρ - питомий електричний опір металу;

l - довжина кабелю;

S - переріз жили.

Полтавський державний аграрний університет

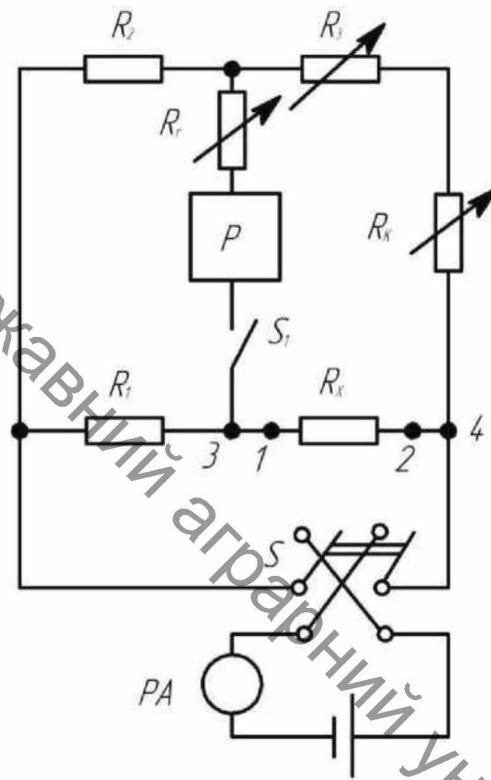


Рисунок 2.1 – Мостова схема з двома затискачами

Полтавський державний аграрний університет

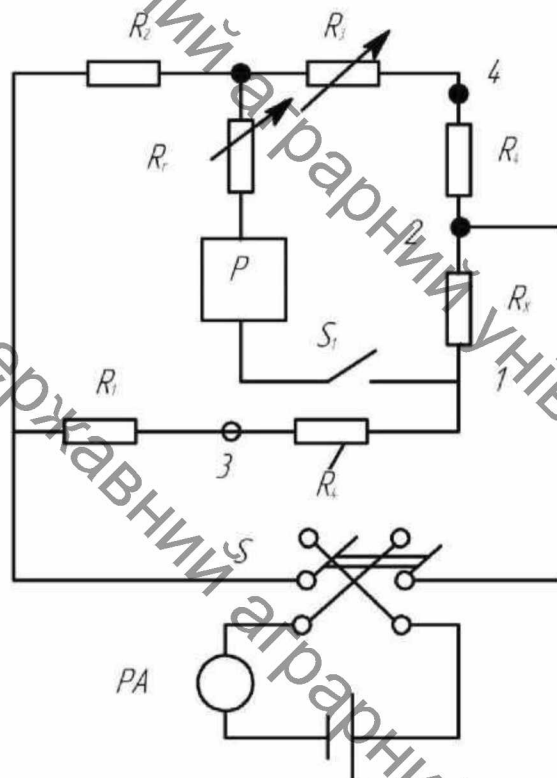


Рисунок 2.2 – Мостова схема з чотирма затискачами

Якщо опір зразка перевищує 2 Ом, для вимірювання використовують схему двозатискачевого моста (рис. 2.1). У межах значень від 10 до 0,1 Ом застосовується чотиризатискача схема одинарного моста (рис. 2.2). При опорі меншому за 0,1 Ом використовується виключно подвійний міст. У випадках, коли опір нижчий за 100 Ом, також застосовується схема подвійного моста (рис. 2.3).

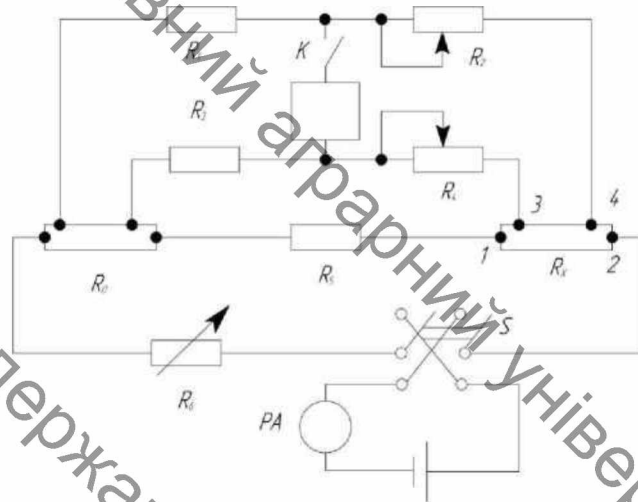


Рисунок 2.3 – Схема з подвійним мостом

У схемі двозатискачного моста зразок під'єднується до провідників у точках 1 та 2. Проводи, що підводять, приєднуються до вимірювального пристрою в точках 3 і 4. Щоб урахувати опір підвідних проводів, його можна визначити шляхом замикання затискачів 7 і 2. Для компенсації цього опору іноді застосовують додатковий елемент із можливістю регулювання.

Під час вимірювання за схемою, наведеною на рисунку 2.2, опори з'єднувальних провідників R_4 і R'_4 входять до складу плечей моста, додаючись відповідно до опорів R_1 і R_3 , значення яких істотно перевищують опори R_4 та R'_4 .

Однак жоден із методів вимірювання опору не враховує вплив контактних опорів у точках 7 і 2. При використанні схеми подвійного моста (рис. 1.6), ці контактні опори (у струмових затискачах 7 і 2) не входять до вимірюваної частини кола, яка знаходиться між потенційними затискачами 3 і 4. Контактні опори в точках 3 і 4 мають значно менше значення порівняно з величинами R_2 і R_4 , тому

вони можуть істотно спотворювати результати. Така сама схема використовується і для підключення еталонного опору R_0 .

Клас точності використовуваних приладів повинен бути не гіршим за 1,5. Схема має забезпечувати таку чутливість, щоб зміна опору одного з плеч (R_2 , R_4 або R_3) на 1,5% призводила до зміщення стрілки індикатора рівноваги P на одну поділку шкали. Вимірювання виконуються при двох напрямках струму, які перемикаються за допомогою спеціального перемикача.

Для обчислення опору зразка використовують такі формули:

$$R_x = \frac{R_1}{R_2} R_3 \quad (2.3)$$

$$R_x = R_0 \frac{R_2}{R_1} \quad (2.4)$$

Формула (2.4) є точною лише за умови, що R_1 дорівнює R_3 , а також R_2 дорівнює R_4 . Через те, що ці співвідношення дотримуються із певною похибкою, точність формули зростає при зменшенні опору з'єднувального елемента R_5 . Опори R_2 і R_4 реалізовані у вигляді декадних магазинів. Щоб охопити ширший діапазон вимірювань, значення опорів R_1 і R_3 змінюють ступінчасто.

Чутливість подвійного моста є нижчою порівняно з мостами, побудованими за схемами, наведеними на рисунках 2.1 і 2.2. Тому індикатор рівноваги P (гальванометр), що використовується у подвійних мостах, повинен мати найвищу чутливість. Найкращі умови для максимальної чутливості створюються, коли опори R_0 та R_x мають подібні значення. Підвищення струму під час вимірювань також сприяє зростанню чутливості, але для запобігання надмірному нагріванню провідника струм має бути щонайменше у десять разів меншим за гранично допустиме навантаження для відповідного кабелю.

Під час вимірювань перемикач K вмикають лише після завершення всіх інших перемикачів у схемі. Прилад вмикають у зворотному порядку – перемикач K спочатку.

Щоб зменшити додатковий опір у контактній зоні, що виникає через

нерівномірний розподіл струму, при вимірюванні опору багатожильних провідників кожному жилу слід припаяти до наконечників.

2.2 Метод вимірювання опору жил

Перед початком вимірювань визначають тип пошкодження за допомогою мегаомметра з обох боків лінії. Якщо це зробити не вдається, застосовується високовольтна випробувальна установка. Після встановлення характеру пошкодження обирають відповідний метод його пошуку. Методи поділяються на дві категорії: відносні – вказують відстань до пошкодження від точки виміру, та абсолютні – дають змогу визначити точне місце несправності безпосередньо на трасі.

Відносні методи характеризуються відчутною похибкою, яка через низку причин – таких як неоднорідність кабельної лінії, похибки вимірювальних приладів та інші фактори – рідко буває меншою за 2% і зазвичай значно перевищує цю межу. Використання лише другої групи методів істотно ускладнює роботу на протяжних ділянках, а в окремих випадках ці способи взагалі непридатні, наприклад, при запливаючих пробоях. Доцільно порівнювати відносні та абсолютні методи визначення місця пошкодження, враховуючи тип несправності, довжину кабельної лінії та її конструктивні особливості.

Цей метод використовують у випадках, коли ушкодження полягає в тому, що в певній ділянці кабелю одна з жил замикається на іншу або на оболонку через перехідний опір $R_{п}$, який не перевищує 10^4 Ом. Жилу 3, чия ізоляція пошкоджена, на дальньому кінці кабелю з'єднують із жилою 2 того ж перерізу (рис. 1.7). Припустимо, що в місці дефекту жила 3 контактує з оболонкою 4 (або іншою жилою) через опір $R_{п}$. Виводи моста приєднують до точок А і С, як показано на схемі рис. 2.4. Джерело живлення або підключається до оболонки, або до жили 4,

або заземлюється – залежно від того, чи заземлена оболонка 4. На схемі показано жили кабелю (1, 2, 3), оболонка кабелю (4), гальванометр (P).

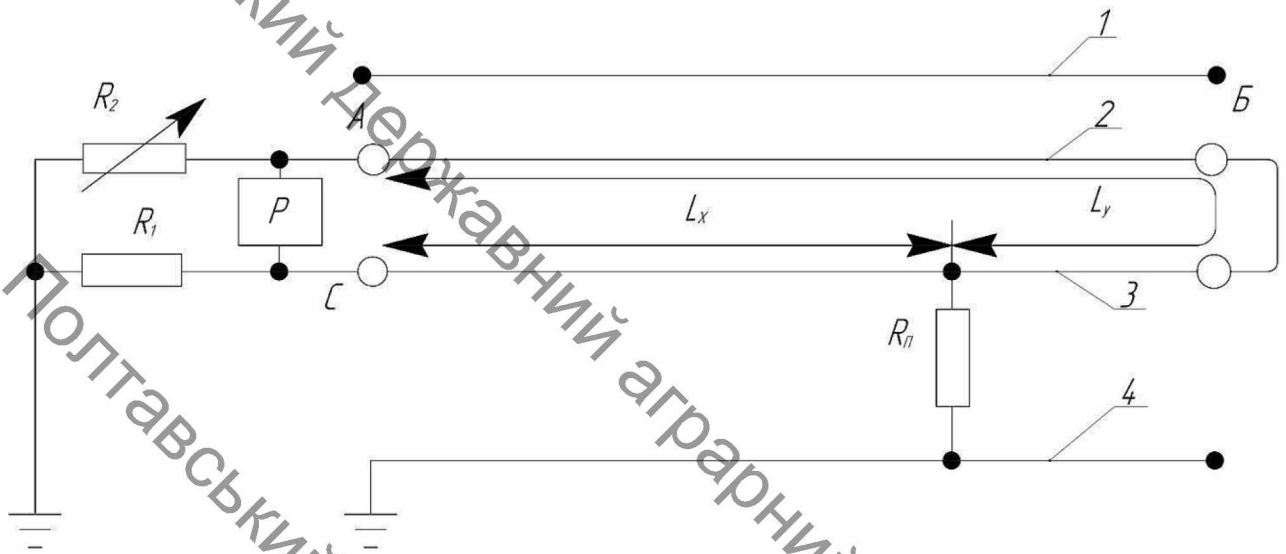


Рисунок 2.4 – Схема знаходження місця ушкодження

Відповідно до елементарних законів електричного кола, L_x і L_y пропорційні довжині провідника, по якому протікає струм. У такому випадку:

$$\frac{R_y + R_x}{R_x} = \frac{R_2 + R_1}{R_1} = \frac{2L}{L_x} \quad (2.5)$$

звідки

$$L_x = 2L \frac{R_1}{R_2 + R_1} \quad (2.6)$$

Вимірювання повторюється двічі, при чому кінці кабелів потрібно міняти місцями.

$$L_y = 2L R_1' (R_1' + R_2') \quad (2.7)$$

де R_1' та R_2' – опори при другому вимірюванні.

Перевірити правильність вимірювань можна склавши L_x та L_y , вони мають у сумі складати $2L$.

Ще одним методом перевірки є аналогічні вимірювання з протилежних кінців кабелю Б.

Зі зростанням $R_{\text{ш}}$ чутливість методу зменшується. Щоб знизити значення $R_{\text{ш}}$, можна додатково пропалити місце ушкодження, застосувавши повторне випробування пробійною напругою.

Висновок до розділу 2

Визначення електричного опору кабельних конструкцій здійснюється постійним струмом згідно з ДСТУ 7229-76 з урахуванням температури, яку нормують до 20 °С. Для точного вимірювання використовують різні мостові схеми залежно від величини опору: двозатискачеву, чотиризатискачеву або подвійну. Під час вимірювання важливо враховувати контактні опори, клас точності приладів, чутливість схеми та відповідність опорів у плечах моста. Для пошуку місць пошкодження кабелю використовують відносні та абсолютні методи, враховуючи тип несправності та параметри кабелю. Точність визначення залежить від багатьох чинників, зокрема перехідного опору в місці дефекту.

3 ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЬ УШКОДЖЕНЬ КАБЕЛЬНИХ ЛІНІЙ

3.1. Алгоритми забезпечення надійності роботи КЛ

Надійність і якість функціонування кабельної електромережі залежить від двох основних чинників:

1. Виконання організаційних заходів під час будівництва та подальшої експлуатації кабельної мережі;
2. Дотримання технічних вимог у процесі експлуатації.

До організаційних заходів належать:

- Контроль за станом кабельних трас, споруд, арматури та самого кабелю;
- Спостереження під час виконання робіт на ділянках прокладання кабелів;
- Ведення відповідної технічної документації.

До технічних заходів, що здійснюються в процесі експлуатації, належать:

- Здійснення технічного контролю за станом кабельних ліній (КЛ);
- Проведення випробувань КЛ із застосуванням підвищеної напруги;
- Моніторинг навантаження на кабельні мережі;
- Визначення місць пошкодження кабелів за спеціальною методикою;
- Перевірка стану металевих оболонок та виконання антикорозійних заходів;
- Захист кабелів від впливу блукаючих електричних струмів;
- Використання сучасних технологій під час монтажу й ремонту кабельних трас.

3.3. Технічні засоби визначення місць ушкоджень КЛ

Обладнання для сигналізації замикань на землю класифікується на стаціонарне і переносне. Стаціонарні системи розміщують у ключових точках мережі, тоді як переносні застосовуються оперативним персоналом безпосередньо під час пошуку пошкоджень. Для повітряних ліній такі пристрої можуть пересуватись уздовж маршруту і давати змогу визначити як ушкоджену ділянку, так і орієнтовне місце пошкодження. У випадку з кабельними мережами як стаціонарні, так і переносні пристрої використовуються на ТП для локалізації аварійної ділянки.

Зазначимо параметри, які мають ключове значення для точного виявлення пошкоджених елементів мережі.

Важливою особливістю є здатність реагувати як на короточасні, так і на тривалі замикання на землю (ЗНЗ). Виявлення короточасних ЗНЗ є корисним для своєчасного профілактичного виявлення місця пошкодження, а також у разі автоматичного вимкнення лінії з розподільчого пункту (РП). Така ситуація характерна для кабельних мереж, оскільки коротке замикання в кабельній лінії майже завжди супроводжується ЗНЗ. Недоліком подібних пристроїв є те, що для їх повторного вводу в роботу потрібно ручне втручання. Цієї вади позбавлені пристрої, які реагують на стійке однофазне замикання, проте вони не фіксують короточасні ЗНЗ або короткі замикання.

Переносні прилади захисної сигналізації (ПЗС) поділяються за принципом роботи на ті, що використовують абсолютний або відносний метод «вимірювання». У випадку абсолютного підходу для визначення напрямку до місця пошкодження необхідно мати додаткові дані про максимальні показники на непошкодженій лінії.

Під час виявлення пошкоджень у мережах 6–35 кВ застосовують мегаомметри з підвищеною номінальною напругою – зазвичай 2,5 кВ, а в таких країнах, як Великобританія, – до 5 кВ. Проте для кабельних ліній, що зазнали короткого замикання, напруга 5 кВ нерідко виявляється недостатньою для

достовірної оцінки стану ізоляції. Це пояснюється особливостями ізоляційних матеріалів кабелів. Значення опору ізоляції в межах сотень або тисяч МОм при напрузі 2,5–5 кВ ще не гарантує її справності. Через це доводиться залучати пересувні установки для проведення випробувань.

Такі установки, що зазвичай використовуються для профілактичних випробувань, забезпечують постійну напругу 30 кВ і вище [6]. Утім, у місцях з обмеженим доступом застосовують спеціальні компактні пристрої, придатні для ручного транспортування.

Показники пошкодження, які застосовують для виявлення дефектного елемента в лініях електричних мереж напругою 35–10 кВ, функціонують на основі підключення однієї фази пошкодженого сегмента кабельної лінії або трансформаторної підстанції до робочої напруги [7, 8].

Конструкція УП подібна до пристрою для контролю наявності напруги, доповненого опором і вольтметром, що дозволяють визначити різницю потенціалів у точках розгалуження мережі, яка з'єднує два центральні пункти. Ізоляційні циліндри мають електричну міцність, яка дозволяє торкатися наконечником до краю циліндра при наявності робочої напруги. Застосування УП допускається у мережах різного типу відповідно до інструкцій з охорони праці та правил безпеки.

Визначення пошкодженого фрагмента здійснюється по-різному залежно від того, чи є ділянка мережі автоматизованою або керується вручну.

Найпоширенішим способом автоматизації розподільної мережі є використання двопроменевої схеми. У цьому випадку до кожного трансформаторного пункту підведено два окремі кабельні лінії 6–35 кВ, які живлять розділені секції з трансформаторами. Якщо один із напрямків вимикається, то навантаження зі сторони 127–380 В, яке втратило живлення, автоматично перемикається через контакторну станцію на трансформатор, підключений до іншої лінії («променя»). Завдяки цьому всі споживачі залишаються під напругою. За таких умов виявлення пошкодженого елемента спрощується. Тому спершу доцільно розглянути, як здійснюється пошук несправностей у ділянках мережі без автоматизації.

Вимірювання опорів кабелів за допомогою мостів з використанням постійного струму здійснюється за допомогою наступних приладів.

Класичний представник минулого покоління техніки з достатніми можливостями та параметрами – омметр цифровий ЦЗ4 (рис. 3.1).



Рисунок 3.1 – Омметр цифровий ЦЗ4 [9, 10]

Призначений для вимірювання електричного опору постійному струму в діапазоні від 10^{-3} до 10^9 Ом.

Діапазон опору: від 0,001 Ом до 999,99 Ом, від 100 кОм до 9,9999 Ом, від 1 кОм до 99,999 кОм, від 10 МОм до 999,9 МОм

Клас точності: 0,05/0,01; 0,02/0,005; 0,5/0,1

Його наступник ЦЗ06-2 (рис. 3.2).



Рисунок 3.2 – Омметр цифровой Щ306-2 [11]

Щ306-2 призначений для вимірювання електричного опору постійному струму в діапазоні від 0,001 Ом — 1 ГОм; клас точності від 0,005 до 0,5; висока точність виміру (від -99,9% до +99,9%), періодичний режим виміру [12].

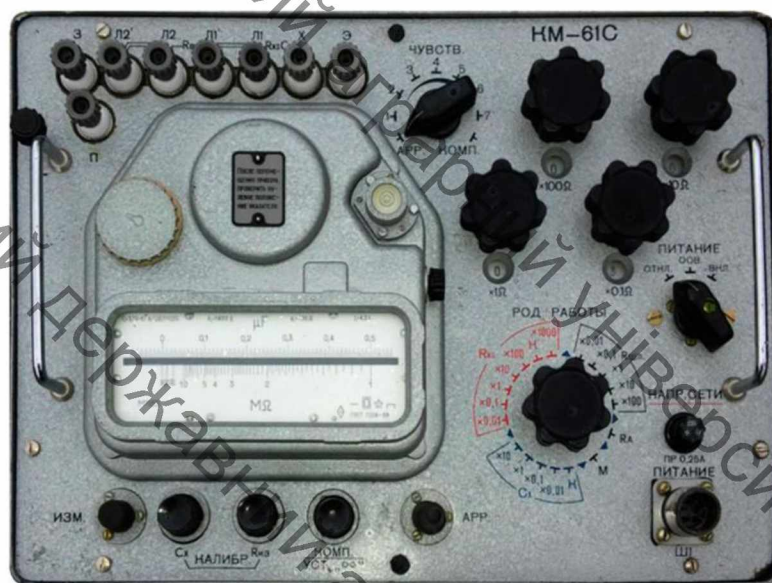


Рисунок 3.3 – Міст кабельний KM-61 C

Міст кабельний KM-61 C (рис. 3.3).

Клас точності - 1.

Номинальне значення вимірювальної напруги постійного струму становить 100 В.

Вимірювання омичного опору за одномостовою схемою - від 0,1 Ом до 0,1 МОм.

Основна похибка вимірювання при нормальних умовах і відносній вологості повітря при +50°C становить від 55% до 75%, при використанні подвійних з'єднувальних проводів довжиною 3 м, де R_k – опір контуру в Ом – не більше $\pm(0,002 + 0,01 / R_{шл}) \cdot 100\%$.

Додаткова похибка КМ-61С при вимірюванні омичних опорів:

- в діапазоні робочих температур - $\pm(0,002 + 0,01 / R_k) \cdot 100\%$;
- при підвищенні відносної вологості повітря при температурі +40°C від 95% до 98% - $\pm(0,004 + 0,01 / R_k) \cdot 100\%$.

Основні похибки ємності провідника в діапазоні від 0,001 мкФ до 5 мкФ (від верхньої межі шкали) становлять не більше $\pm 2,3\%$.

Основна похибка омичної несиметрії провідників в діапазоні від 0,1 Ом до 100 Ом для контурів від 10 Ом до 5000 Ом пояснюється $1/2 R_k$ - не більше $\pm(0,002 + 2 \cdot 0,1 \text{ Ом} / R_k) \cdot 100\%$.

Відносна похибка опору ізоляції в межах від 104 Ом до 1010 Ом для марки КМ-61С:

- «1» шкали «МОм» - не більше 1%;
- «10» шкали «МОм», не більше $\pm 10\%$.

Напрацювання на відмову - не менше 3000 годин.

Габаритні розміри - 403×325×260 мм.

Мегаомметр являє собою вимірювальний прилад для вимірювання опору ізоляції великих значень (мегаом) за допомогою високої напруги (100, 500, 1000, 2500 вольт), що виробляється самим приладом. Принцип роботи мегаомметра заснований на використанні закону Ома для ділянки ланцюга.

За видами мегомметри поділяються на цифрові та аналогові пристрої.

Аналогові (стрілочні) мегаомметри приводяться в рух за рахунок обертання рукоятки, яка в свою чергу передає крутний момент на динамо-машину, яка

виробляє напругу номінального значення приладу. Магнітоелектричний принцип вимірювання опору ізоляції визначається законом електромагнітної індукції, при якому відхилення голки приладу залежить від напруги і сили струму. Надійність генератора ручного мегомметра є позитивною якістю, але стрілочний прилад вважається застарілим приладом з габаритними розмірами і високою похибкою вимірювань [13].



Рисунок 3.4 – Аналоговий (стрілочні) мегаомметр

Мегомметри ЕС0202/1Г, ЕС0202/2Г українського виробництва Уманського заводу «Мегаомметр» призначені для вимірювання опору ізоляції електричних кіл, що не перебувають під напругою. Це може бути опір ізоляції електричних та електронних пристроїв, установок, кабелів. Прилади не потребують операцій калібрування та обнулення. Пристрої розроблені таким чином, щоб бути

захищеними від пилю та бризок. Захищений від перешкод змінного струму з частотою 50, 60 Гц.

Пристрої живляться від вбудованого електромеханічного генератора, що позбавляє від необхідності підключати його до мережі і забезпечує високу мобільність і зручність. Крім того, на клеммах є кілька фіксованих вихідних напруг, що дає можливість проводити вимірювання відповідно до різних нормативних вимог.

Цифрові (електронні) мегаомметри – більш сучасні кнопкові пристрої, які прийшли на зміну пристроям з механічним приводом. Електронні мегомметри мають вбудований потужний генератор імпульсів на основі польових транзисторів, які перетворюють і підсилюють задане значення напруги для вимірювання. При цьому опір ізоляції в Омах вимірюється порівнянням напруги досліджуваного ланцюга з базовим опором. Для роботи лічильника використовуються акумуляторні батарейки. Перевагами цифрових мегаомметрів є зберігання результатів в пам'яті, високий клас точності вимірювань, незначна вага і невеликі габарити.



Рисунок 3.5 – Мегаомметр ЦС0202-1

На рисунку 3.5 зображено передню панель приладу та його функціональні можливості [14]. На зображенні:

- 1 – розетка для підключення зовнішнього джерела живлення – центральний контакт «плюс»;
- 2 – індикатор зарядки акумулятора;
- 3 – дисплей;
- 4 – вимірювальні контакти: Е – підключення провідника комплекту поставки, "+" – підключення екранованого шнура, "-" – підключення неекранованого шнура;
- 5 – кнопка R_x/K – індикація результатів вимірювання опору ізоляції (R₁₅) і коефіцієнта поглинання струму <0> і 9 попередніх вимірювань;
- 6 – кнопка UST.U – вхід в режим установки вимірювальної напруги і виходу з неї;
- 7, 8 – кнопки "▲", "▼" – збільшення, зменшення вимірювальної напруги з дискретністю 50 В і вилучення з пам'яті результатів попередніх вимірювань;
- 9 – кнопка POWER – включення мегомметра і скидання;
- 10 – кнопка ИЗМ – вимірювання опору ізоляції.

Сфери застосування мегомметрів:

Мегомметр використовується для вимірювання опору ізоляції матеріалів (діелектриків), ізоляційних покриттів проводів, кабелів, з'єднувачів, обмоток електричних машин та інших електричних пристроїв. При вимірюванні враховуються коефіцієнти вологості (поглинання) і умов старіння ізоляції (поляризації).

Показчик ППК - 1 дозволяє обійтись без спроб вмикання на можливі короткі замикання, небезпечні для обладнання і персоналу, особливо в мережах з великими струмами коротких замикань (кабельні мережі міст, підприємств). Показчик ППК - 1 призначений для застосування в кабельних електричних мережах 10 кВ з метою оперативного визначення пошкоджених кабелів з замиканнями на «землю» (рис. 3.6) [15].



Рисунок 3.6 – Показчик пошкодження кабелю двополісний з аналоговим приладом ППК-1



Рисунок 3.7 – Трасошукач MRT-700 (Локатор підземних кабелів і труб, під напругою і без напруги)

Трасошукач (кабелешукач) - прилад для визначення місця розташування та глибини залягання підземних комунікацій, якими протікає струм (наприклад, силових кабелів, трубопроводів, що перебувають під напругою електрохімічного

захисту, підземних металевих комунікацій, які живляться від зовнішнього генератора) [16].

Трасошукачі використовуються для визначення місць пошкодження кабельних ліній, обстеження ділянок місцевості перед проведенням земляних робіт, проведення робіт з пошуку прихованої проводки, моніторингу стану магістральних трубопроводів.

Висновок до розділу 3

Для виявлення замикань на землю в електромережах застосовують стаціонарне й переносне обладнання. Воно здатне фіксувати як короточасні, так і тривалі пошкодження, особливо в кабельних лініях. Пошук несправностей залежить від типу мережі – автоматизованої чи ні. Для точного виявлення дефектів використовують мегаомметри та кабельні мости, які відрізняються принципом дії, класом точності й конструктивними особливостями. Цифрові прилади є більш сучасними й точними, тоді як аналогові – менш зручні, але надійні. Вимірювання опору ізоляції допомагає оцінити стан кабелів і запобігти аваріям у мережі.

4 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ТА ТЕХНІЧНА БЕЗПЕКА

4.1 Економічна ефективність

Кваліфікаційна робота, присвячена питанню методів та засобів виявлення ушкоджень кабельних ліній, має дослідницьке спрямування та не містить у собі прямого економічного ефекту, який можна підрахувати чисельно.

Прокладання кабельних ліній має у рази більшу собівартість, чим використання повітряних.

З іншого боку, ненадійне енергопостачання об'єктів господарювання, зниження якості електричної енергії, можуть потягнути за собою збитки через недовиробництво продукції, втрати товарів швидко псування, невиробничі втрати матеріалів. У такому випадку підрахувати та співвідносити затрати на капітальні вкладення з матеріальними збитками вкрай складно.

Для визначення економічного ефекту у конкретних випадках ми можемо запропонувати для підприємств розподілу електричної енергії, що закупають електроенергію та поставляють її до кінцевих споживачів, наступний метод самоокупності.

Слід визначити наступні показники для розрахунку самоокупності спорудження КЛ:

- дохід;

$$D = P_{\text{макс.КЛ}} \cdot T_{\text{нб}}(C - B) \quad (4.1)$$

де $P_{\text{макс.КЛ}}$ – максимальна сумарна потужність, що передала кабельна лінія;

$T_{\text{нб}}$ – найбільший час використання;

C – ціна послуг для споживачів (доставка + використання)

B – ціна електроенергії при закупівлі.

- прибуток Π ;

$$\Pi = D - C \quad (4.2)$$

де C – сумарні щорічні витрати.

- період самоокупності T_c спорудження КЛ:

$$T_c = \frac{V_{\text{КЛ}}}{\Pi} \quad (4.3)$$

де $V_{\text{КЛ}}$ – вартість КЛ.

4.2 Технічна безпека.

Запобіжні заходи при роботі з мегомметрами.

Через те, що мегомметр в процесі вимірювання видає високу напругу, то при роботі з ним слід дотримуватися ряду правил:

1. На промисловому виробництві до роботи допускаються фахівці з групою з електробезпеки не нижче третьої.
2. Роботи слід проводити в такій послідовності – відключити обладнання або ділянку ланцюга, застосувати заземлення, підключити затискачі мегомметра, зняти заземлення, провести виміри.
3. Забороняється торкатися відкритих струмоведучих частин, на яких проводиться вимірювання.
4. Після закінчення вимірювань необхідно зняти залишковий заряд з струмоведучих частин за допомогою їх короткочасного заземлення.

Щодо інших вимог безпечної роботи – відповідно до правил безпеки електричних мереж, усі роботи (зокрема земляні, вибухові, гідротехнічні, будівництво споруд або інші подібні дії поблизу кабельних ліній) дозволяється проводити лише після попереднього погодження з енергетичними підприємствами та отримання письмового дозволу на їх виконання.

Енергопостачальні організації, з метою збереження електромереж, надають дозвіл на проведення робіт у межах охоронних зон, визначених у зазначених

Правилах, за умови подання відповідної заявки щонайменше за 10 днів до початку робіт, а також при дотриманні усіх вимог, викладених у цих Правилах.

Під час погодження планових земляних робіт енергетичне підприємство, що обслуговує кабельну інфраструктуру, повинно ознайомитися з проєктною документацією на виконання таких робіт і впевнитися, що в ній передбачено чіткі та конкретні заходи для захисту кабельних ліній і пов'язаних мережевих об'єктів.

Підприємство, яке відповідає за експлуатацію кабельної мережі, також зобов'язане здійснювати облік усіх погоджених проєктів і фіксувати факти проведення земляних робіт.

Під час виконання розкопок кабельних трас або інших земляних робіт поруч із ними необхідно забезпечити постійний контроль за станом кабелів протягом усього періоду робіт. Відкриті кабелі слід надійно закріпити, щоб уникнути їх провисання та запобігти можливим механічним ушкодженням.

Особа, відповідальна за виконання розкопок, повинна отримати точні дані про розташування кабелів, інструктаж щодо правил поводження з ними та надати письмове підтвердження про ознайомлення з цими відомостями.

Місця, де проводяться земляні роботи, класифікуються за рівнем ризику пошкодження кабельних ліній на дві окремі зони:

- перша – це роботи, що виконуються безпосередньо на трасах кабельних ліній або в межах одного метра від крайнього кабелю незалежно від його напруги;
- друга – це роботи, що проводяться на кабельних трасах на відстані понад один метр від крайнього кабелю.

Роботи на ділянках, де є сумніви щодо точності розташування кабельних ліній, зазначених у планах, слід вважати роботами першої зони.

Під час виконання таких робіт відповідно до пункту 9.6, укладання кабелів після завершення має відбуватися за обов'язкової участі представника енергопідприємства, що обслуговує мережу. Це здійснюється після ретельного огляду всіх кабелів.

Кабелі слід укладати та захищати від механічних пошкоджень згідно з вимогами ПУЕ.

Після завершення земляних робіт, огляду та засипання кабелю ґрунтом, представник енергетичного підприємства, що обслуговує кабельну мережу, разом із представником виконавця оформлює акт про завершення робіт. Також вони разом роблять відповідний запис у паспорті кабельної лінії, де вказуються дата, місце проведення та назва організації, яка виконувала роботи.

Після виконання земляних робіт на ділянці всі кабельні лінії з напругою понад 1000 В мають пройти випробування підвищеною випрямленою напругою.

Результати випробувань кабельних ліній фіксуються в паспорті.

Служби енергооб'єктів, які відповідають за експлуатацію кабельних мереж, мають бути забезпечені лабораторіями з необхідним обладнанням для локалізації пошкоджень, вимірювання параметрів та проведення випробувань. Для цього використовуються апарати для пошуку місця дефекту, прилади для вимірювань, а також мобільні установки для тестування та контролю.

Під час обслуговування і ремонтних робіт технічний персонал енергооб'єкта зобов'язаний виконувати такі завдання:

- перевірка відповідності зразків кабельної продукції та матеріалів, які використовуються для встановлення кабельних муфт, вимогам стандартів ГОСТ і технічних норм;

- проведення випробувань як діючих, так і новозбудованих кабельних трас;

- виконання різноманітних вимірювальних робіт (визначення навантаження, температури нагрівання ліній, параметрів напруги, наявності блукаючих струмів тощо).

Випробування штанг, рукавичок, діелектричних ботів та інших засобів індивідуального захисту. Щоб виконувати такі роботи, технічна служба енергооб'єкта, яка обслуговує кабельні мережі, повинна мати у своєму розпорядженні відповідні лабораторії – як стаціонарного, так і мобільного типу – забезпечені необхідним обладнанням, вимірювальними приладами та іншими технічними засобами.

Для перевірки стану кабельних ліній, випалювання пошкодженої ізоляції та

визначення місця ушкодження на лініях використовуються пересувні лабораторії, змонтовані на базі автомобілів.

У мобільних лабораторіях, призначених для випробування кабельних ліній напругою до 10 кВ, підвищена випрямлена напруга може створюватися за допомогою напівпровідникових схем множення. Така лабораторія має бути оснащена випробувальним трансформатором потужністю не менше ніж 2,5 кВА з вихідною напругою в межах 60–70 кВ.

Установка для пропалювання повинна мати потужність не менше 25 кВА з можливістю регулювання напруги в межах 7,5–15 кВ. Випрямлена напруга повинна знаходитися в діапазоні 10,5–21 кВ, а струм – у межах 1,5–2 А. Для застосування індукційного способу перевірки траси кабельної лінії лабораторію необхідно укомплектувати генератором звукової частоти. Для використання акустичного методу виявлення місця пошкодження кабелю потрібні конденсатори з напругою 2,5 кВ і ємністю від 300 до 600 мкФ.

Крім цього, в лабораторії повинні бути прилади для пошуку кабелю, пристрої для визначення відстані до місця пошкодження, обладнання для вимірювання опору ізоляції, опору провідників і екранів, а також засоби захисту.

Для випробування можуть також використовуватись будь-які інші доступні на місці установки, які забезпечують дотримання вимог нормативної документації.

Кабельні лінії слід періодично перевіряти підвищеною напругою постійного струму в межах профілактичного контролю згідно з вимогами СОУ-Н ЕЕ 20.302:2007, відповідно до графіка, затвердженого технічним керівником енергооб'єкта [1].

Проведення позапланових випробувань кабельних ліній після виконання ремонтних робіт або земляних робіт, що передбачають розкриття трас, визначає керівник енергооб'єкта, який відповідає за експлуатацію електромереж.

Кабельні лінії під час експлуатації мають періодично проходити випробування підвищеною випрямленою напругою за допомогою стаціонарних випробувальних установок або мобільних лабораторій.

Під час перевірки разом із кабелем тестують також кінцеві муфти. Кабельні

вводи та вставки, розташовані на повітряних лініях, перевіряють без необхідності їх від'єднання. У міських електромережах, за умови одночасного відключення, дозволяється випробовувати кілька кабельних ліній, які відходять від підстанції, або послідовно з'єднані ділянки кабелю.

Перед початком випробувань необхідно здійснити перевірку стану кабельної лінії, каналів та споруд. У разі виявлення пошкоджень оболонки кабелю, кінцевих або з'єднувальних муфт, проведення випробувань дозволяється лише після усунення недоліків.

Якщо під час випробування відбулося пробиття кабелю, слід виявити місце ушкодження та з'ясувати його причину. Для цього пошкоджену частину кабелю, муфту кінцеву чи з'єднувальну демонтують і досліджують у стаціонарній лабораторії. За результатами огляду складається відповідний протокол, до якого залучають незалежних експертів. Якщо ремонт не потребує видалення пошкодженого сегмента, аналіз причин ушкодження проводиться безпосередньо на місці відновлення.

Інформація щодо ушкоджень та проведених ремонтів має бути зафіксована в паспорті кабельної лінії.

Висновок до розділу 4

Для безпечної роботи з мегомметрами необхідно дотримуватися суворих правил електробезпеки, зокрема щодо послідовності дій, заземлення та уникнення контакту з відкритими струмоведучими частинами. Усі земляні та інші роботи поблизу кабельних ліній дозволяються лише після погодження з енергетичними підприємствами та за умови дотримання встановлених правил. Контроль за станом кабелів здійснюється протягом усього періоду робіт. Кабельні лінії регулярно проходять випробування та перевірки за допомогою стаціонарних і мобільних лабораторій. Уся інформація про стан, ушкодження, ремонти та випробування фіксується в паспорті кабельної лінії.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Механічні пошкодження кабельних ліній часто залишаються непоміченими, але з часом можуть призвести до електричного пробоя. Щоб запобігти аваріям, необхідно періодично проводити випробування кабелів підвищеною напругою, особливо після ремонтів або за наявності підозри на пошкодження. Строки та періодичність таких випробувань визначаються відповідно до нормативів або за рішенням технічного керівника енергооб'єкта, з урахуванням технічного стану лінії, умов експлуатації та важливості забезпечення безперебійного електропостачання.

Кабельні мережі напругою 10–35 кВ працюють з ізольованою нейтраллю і часто мають компенсовану схему з дугогасильними котушками. У міських умовах застосовують кабельні лінії, у сільських – повітряні. Захист мереж забезпечують релейні пристрої, запобіжники та індикатори коротких замикань (ІКЗ), що значно пришвидшують виявлення місця аварії.

Основні типи пошкоджень: однофазні замикання на землю, міжфазні короткі замикання та механічні розтяжки. Пошкодження також можуть виявлятися під час профілактичних випробувань підвищеною напругою.

Найважливішими вимогами до системи є швидке виявлення несправностей і відновлення живлення, мінімізація обсягів недопоставленої енергії, економія ресурсів, і дотримання безпеки. Точне визначення місця пошкодження вимагає сучасних методів і пристроїв, але залишається складним завданням, особливо для кабелів, прокладених у ґрунті.

Визначення електричного опору кабельних конструкцій здійснюється постійним струмом згідно з ДСТУ 7229-76 з урахуванням температури, яку нормують до 20 °С. Для точного вимірювання використовують різні мостові схеми залежно від величини опору: двозатискачеву, чотиризатискачеву або подвійну. Під час вимірювання важливо враховувати контактні опори, клас точності приладів, чутливість схеми та відповідність опорів у плечах моста. Для пошуку місць

пошкодження кабелю використовують відносні та абсолютні методи, враховуючи тип несправності та параметри кабелю. Точність визначення залежить від багатьох чинників, зокрема перехідного опору в місці дефекту.

Для виявлення замикань на землю в електромережах застосовують стаціонарне й переносне обладнання. Воно здатне фіксувати як короточасні, так і тривалі пошкодження, особливо в кабельних лініях. Пошук несправностей залежить від типу мережі – автоматизованої чи ні. Для точного виявлення дефектів використовують мегаомметри та кабельні мости, які відрізняються принципом дії, класом точності й конструктивними особливостями. Цифрові прилади є більш сучасними й точними, тоді як аналогові – менш зручні, але надійні. Вимірювання опору ізоляції допомагає оцінити стан кабелів і запобігти аваріям у мережі.

Для безпечної роботи з мегомметрами необхідно дотримуватися суворих правил електробезпеки, зокрема щодо послідовності дій, заземлення та уникнення контакту з відкритими струмоведучими частинами. Усі земляні та інші роботи поблизу кабельних ліній дозволяються лише після погодження з енергетичними підприємствами та за умови дотримання встановлених правил. Контроль за станом кабелів здійснюється протягом усього періоду робіт. Кабельні лінії регулярно проходять випробування та перевірки за допомогою стаціонарних і мобільних лабораторій. Уся інформація про стан, ушкодження, ремонти та випробування фіксується в паспорті кабельної лінії.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. СОУ-Н ЕЕ 20.302:2007 Норми випробування електрообладнання (нова редакція 2020).
2. ПУЕ Правила улаштування електроустановок (перше переглянуте, перероблене, доповнене та адаптоване до умов України видання). 21.08.2017.
3. СОУ-Н МПЕ 40.1.20.509:2005 Експлуатація силових кабельних ліній напругою до 35 кВ. Інструкція
4. ГБН В.2.5-00013741-72:2013 Зовнішні мережі та споруди. Кабельні лінії напругою до 10000 В з використанням гнучких гофрованих двошарових труб із поліетилену. Проектування
5. ДСТУ ГОСТ 7399-97 Проводи та шнури на номінальну напругу до 450/750 В. Технічні характеристики. Зі зміною No 1 та поправкою.
6. ГКД 34.20.507-2003 Технічна експлуатація електричних станцій і мереж. Правила (у редакції наказу від 21.06.2019 № 271)
7. Офіційний сайт «ЕКСІМ Прилад». Показчики пошкодження. [Електронний ресурс]. Дата звернення : 13.04.2025. Режим доступу : <https://eximpribor.com.ua/ru/pokazhchik-poshkodzhennja-kabelju-dvopoljusnij-z-analogovim-priladom-ppk-1.html>.
8. Офіційний сайт «ЕКСІМ Прилад». Трасошукачі. Кабелешукачі. [Електронний ресурс]. Дата звернення : 13.04.2025. Режим доступу : <https://eximpribor.com.ua/ua/katalog-produktsii/trasuvannia-i-poshuk-poshkodzhennia-kabeliu/trasoshukachi-kabeleshukachi.html>.
9. Офіційний сайт «Стандарт Прибор». Щ34 омметр цифровий. [Електронний ресурс]. Дата звернення : 15.04.2025. Режим доступу : <https://standart-pribor.com.ua/product/shch34-ommetr-tsifrovoy/>
10. Офіційний сайт «АРМАДА TEST». Щ34 омметр цифровий. [Електронний ресурс]. Дата звернення : 15.04.2025. Режим доступу : <https://armadatest.net/product/sh34/>.

11. Офіційний сайт «Стандарт Прибор». Щ306-2 омметр цифровий. [Електронний ресурс]. Дата звернення : 17.04.2025. Режим доступу : <https://standart-pribor.com.ua/product/shch306-2-ommetr-tsifrovoy/>

12. Офіційний сайт «Западприбор». КМ-61С. Міст кабельний. [Електронний ресурс]. Дата звернення : 17.04.2025. Режим доступу : <https://zapadpribor.com/km-61s/>

13. Офіційний сайт «Hantek». Мегомметри ЕС0202/1Г. [Електронний ресурс]. Дата звернення : 23.04.2025. Режим доступу : https://hantek.com.ua/es0202_1g

14. Офіційний сайт «Hantek». Мегаомметр ЦС0202-1. [Електронний ресурс]. Дата звернення : 23.04.2025. Режим доступу : <https://hantek.com.ua/cs020211>

15. Офіційний сайт «ЕКСІМ Прилад». Показчик пошкодження кабелю двополіусний з аналоговим приладом ППК-1. [Електронний ресурс]. Дата звернення : 13.05.2025. Режим доступу : <https://eximpribor.com.ua/ru/pokazhchik-poshkodzhennja-kabelju-dvopoljusnij-z-analogovim-priladom-ppk-1.html>

16. Офіційний сайт «ЕКСІМ Прилад». Трасошукач MRT-700. [Електронний ресурс]. Дата звернення : 13.05.2025. Режим доступу : <https://eximpribor.com.ua/ua/trasoshukach-mrt-700-lokator-pidzemnykh-kabeliv-i-trub-pid-napruhoiu-i-bez-napruhy.html>