

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЯ ПОШКОДЖЕННЯ КАБЕЛЬНИХ МЕРЕЖ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розглянуто основні причини виникнення пошкоджень кабельних ліній промислових підприємств та проведено порівняльний аналіз сучасних методів визначення місця пошкодження. Досліджено особливості застосування імпульсного, хвильового, акустичного, індукційного та електроакустичного методів. Запропоновано алгоритм вибору найбільш ефективного методу пошуку залежно від типу пошкодження та характеристик кабельної лінії. Показано, що комплексне використання дистанційних і топографічних методів дозволяє підвищити точність локалізації дефектів та скоротити тривалість аварійно-відновлювальних робіт.

Ключові слова: кабельна лінія, пошкодження кабелю, визначення місця пошкодження, імпульсний метод, акустичний метод, індукційний метод, діагностування кабельних мереж.

Abstract

The paper analyzes the main causes of cable line failures at industrial enterprises and compares modern fault location methods. The features of pulse, wave, acoustic, inductive and electroacoustic methods are investigated. An algorithm for selecting the most effective fault location method depending on the type of fault and cable line characteristics is proposed. It is shown that the combined use of remote and topographic methods improves fault location accuracy and reduces repair time.

Keywords: cable line, cable fault, fault location, pulse method, acoustic method, inductive method, cable network diagnostics.

Вступ

Аналіз експлуатаційних даних показує, що найбільш поширеними пошкодженнями кабельних мереж є однофазні замикання на землю, міжфазні короткі замикання, обриви струмопровідних жил, пошкодження металевих оболонок та деградація ізоляції [1, 2]. Вибір методу визначення місця пошкодження залежить від характеру дефекту, величини перехідного опору та конструктивних особливостей кабелю [2, 5].

Основна частина

Одним із найбільш поширених дистанційних способів пошуку пошкоджень є імпульсний метод, який базується на аналізі відбитих електромагнітних хвиль [1, 2].

Перевагою імпульсного методу є висока швидкість отримання результату та можливість визначення відстані до місця пошкодження без відключення значної кількості споживачів [1, 4]. Разом із тим він не забезпечує точного визначення місця дефекту безпосередньо на трасі кабелю, тому потребує використання додаткових топографічних методів [2, 5].

Для локалізації пошкодження безпосередньо на місцевості застосовуються акустичний та індукційний методи [1, 2]. Акустичний метод базується на реєстрації звукових коливань, які виникають у місці дефекту під час проходження імпульсного розряду [1, 5]. Індукційний метод використовує особливості розподілу магнітного поля вздовж кабельної траси та дозволяє не лише визначити місце пошкодження, а й виконувати трасування кабельних ліній [2, 5].

Порівняльну характеристику найбільш поширених методів визначення місця пошкодження кабельних ліній наведено в таблиці 1 [1, 2, 4, 5].

Проведений аналіз показав, що жоден із розглянутих методів не є універсальним. Найкращі результати досягаються при комплексному використанні дистанційних і топографічних способів пошуку. На першому етапі доцільно застосовувати імпульсний або хвильовий метод для визначення відстані до місця пошкодження, після чого виконувати точну локалізацію дефекту акустичним чи індукційним методом. Такий підхід покладено в основу алгоритму вибору методу пошуку пошкодження кабельних мереж промислового підприємства, рисунки 1.

Таблиця 1 – Порівняльна характеристика методів визначення місця пошкодження кабель-них ліній

Метод	Тип пошкодження	Точність визначення, %	Переваги	Недоліки
Імпульсний (TDR)	Обриви жил, міжфазні замикання, однофазні замикання на землю з перехідним опором до 50 Ом	95–98	Час вимірювання 1–5 с; похибка визначення відстані $\pm 1-3\%$; ефективний для ліній довжиною до 20–30 км; не потребує випалювання дефекту	Не забезпечує локалізацію на місцевості; при опорі дефекту понад 100–200 Ом результати можуть бути недостовірними
Хвильовий	Обриви жил, міжфазні замикання, однофазні замикання на землю	96–99	Похибка $\pm 0,5-2\%$; ефективний на лініях довжиною до 50 км і більше; дозволяє визначати декілька неоднорідностей одночасно	Вартість обладнання на 30–50 % вища порівняно з імпульсним методом; потребує високої кваліфікації оператора
Акустичний	Високоомні пошкодження ізоляції, пробої оболонки, замикання на землю	98–100	Точність локалізації $\pm 0,2-0,5$ м; забезпечує безпосереднє визначення місця розкопки; ефективний при глибині прокладання до 3 м	Потребує генератора імпульсів напругою 5–32 кВ та енергією до 2000 Дж; рівень шуму навколишнього середовища знижує ефективність
Індукційний	Замикання між жилами, пошкодження оболонки, дефекти з опором до 20–50 Ом	90–95	Дозволяє трасувати кабель на глибині до 5 м; похибка визначення траси $\pm 0,2-0,5$ м; швидкість обстеження 1–2 км/год	Похибка локалізації дефекту може досягати 5–10 %; значний вплив сторонніх електромагнітних полів і паралельних комунікацій
Електроакустичний	Комбіновані пошкодження, високоомні та нестабільні дефекти	97–99	Точність $\pm 0,5-1$ м; ефективність виявлення понад 95 %; застосовується для кабелів напругою 6–35 кВ довжиною до 30 км	Потребує одночасного використання двох комплектів обладнання; тривалість пошуку на 20–30 % більша порівняно з акустичним методом

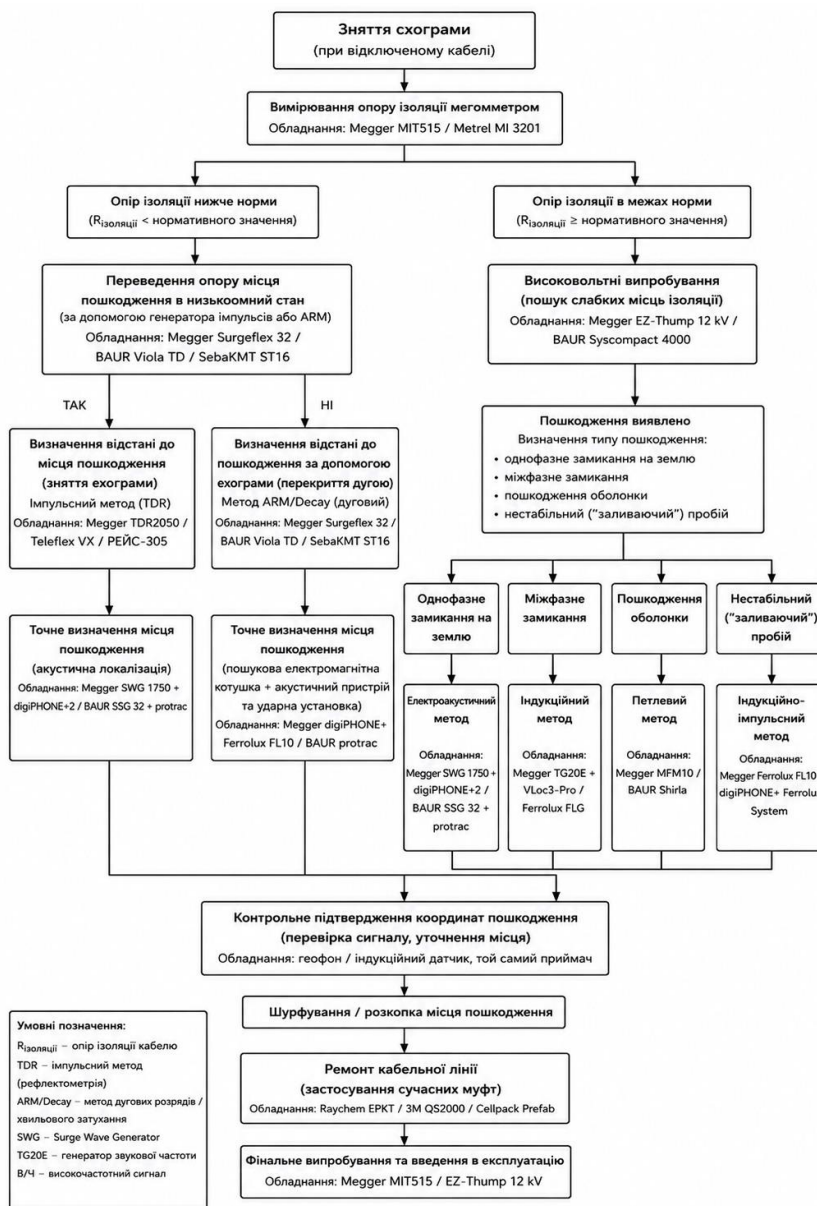


Рисунок 1 - Алгоритм випробування та пошуку місць пошкодження на кабельних лініях

Запропонований алгоритм дозволяє скоротити тривалість аварійно-відновлювальних робіт, зменшити обсяги земляних робіт та підвищити надійність систем електропостачання промислових підприємств.

Висновки

Точність визначення місця пошкодження кабельних мереж промислових підприємств залежить від обраного методу та характеру дефекту. Встановлено, що найвищу точність локалізації забезпечує акустичний метод – до 98–100 % при похибці не більше $\pm 0,2$ – $0,5$ м, тоді як індукційний метод характеризується точністю 90–95 % і дозволяє виконувати трасування кабельних ліній на глибині до 5 м. Для попереднього визначення відстані до місця пошкодження найбільш ефективними є імпульсний та хвильовий методи, похибка яких становить відповідно ± 1 – 3 % та $\pm 0,5$ – 2 %. Запропоновано алгоритм вибору методу пошуку пошкоджень, який передбачає послідовне застосування дистанційних та топографічних способів діагностування. Використання такого підходу дозволяє підвищити точність локалізації дефектів до 98–100 %, скоротити тривалість аварійно-відновлювальних робіт на 20–30 % та зменшити обсяги земляних робіт під час ремонту кабельних ліній.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Луцяк В. В. Діагностичне забезпечення пошуку пошкоджень кабельних ліній електропередачі. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – 168 с.
2. Кутін В. М., Кутіна М. В. Методи та засоби визначення місця пошкодження кабельних мереж. – Вінниця : ВНТУ, 2020. – 196 с.
3. Кутін В. М. Методи і засоби захисту розподільних мереж від однофазних замикань на землю. – Вінниця : ВНТУ, 2011. – 160 с.
4. IEEE Guide for Field Testing and Evaluation of the Insulation of Shielded Power Cable Systems. – New York : IEEE Standards Association, 2015.
5. CIGRE Technical Brochure 773. Fault Location on Underground Cable Systems. – Paris : CIGRE, 2019.

Кутіна Марина Василівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту Вінницького національного технічного університету, e-mail: mkytina@gmail.com.

Виноградов Євгеній Артемович – студент групи ЕЕ-226 факультету електроенергетики та електромеханіки Вінницького національного технічного університету, e-mail: vinogradov@gmail.com.