

## СИСТЕМА КЕРУВАННЯ АВАРІЙНИМ РЕЖИМОМ, СПРИЧИНЕНИМ ОБРИВОМ ПРОВОДУ В РОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖАХ

*Запропоновано метод виявлення обриву проводу та визначення його місця знаходження в розподільних повітряних лініях електропередачі зі складною топологією. Метод базується на вимірюванні струму зворотної послідовності на початку лінії, до моменту падіння проводу на землю та напруги нульової послідовності після падіння проводу на землю, а місце обриву проводу визначається локаційним методом.*

### Вступ

Такий вид пошкодження як обрив проводу в ЛЕП 6—35 кВ є дуже небезпечним. Обрив проводу спричиняє несиметричний режим роботи СЕП, перебої в електропостачанні (втрати від недовідпуску електроенергії). Тривалий несиметричний режим роботи призводить до виходу із ладу двигунів. Обрив проводу може виникати на початку, в середині чи в кінці прольоту. В залежності від цього загальна довжина проводу, що лежить на землі коливається в межах від 34 до 42 м. В місці падіння проводу на землю виникає поле розтікання струму, яке може спричинити ураження людей електричним струмом. Виявити обрив проводу складна задача. В більшості випадків в ПЛ напругою 6—10 кВ у разі обриву проводу струми замикання на землю не перевищують 0,1...0,5 А [1]. При таких струмах відбувається згасання дуги і складається хибне враження про самоусунення однофазного замикання на землю. На такий вид пошкодження не реагують існуючі засоби захисту від однофазних замикань на землю. Запропоновані методи захисту від обриву проводу [2, 3, 4] ефективні лише в радіальних мережах. В мережах з деревоподібною топологією методи та засоби захисту від однофазних замикань на землю в більшості випадків не чутливі до такого виду пошкодження як обрив проводу [2, 3, 4]. Пошук місця обриву проводу оперативною виїзною бригадою не автоматизовано. Тому існує необхідність у створенні нових та вдосконаленні наявних методів і засобів захисту від обриву проводу в розподільних мережах з деревоподібною топологією напругою 6—35 кВ.

*Метою роботи є підвищення чутливості захисту від обриву проводу та автоматизація процесу пошуку місця пошкодження в розгалужених розподільних мережах, шляхом вимірювання струму зворотної послідовності до моменту падіння проводу на землю та напруги нульової послідовності після моменту падіння проводу на землю, які виникають на початку лінії, і застосування локаційного методу для пошуку місця пошкодження.*

### Матеріали дослідження

З метою дослідження величин та параметрів розподільних мереж напругою 6—35 кВ у разі обриву проводу був проведений аналіз десяти реальних ліній ВАТ «АК Вінницяобленерго». Визначаючи струми прямої, зворотної та нульової послідовностей і напруги нульової послідовності, змодульовано обрив проводу однієї фази на початку, в кінці лінії та після кожного відгалуження. Дослідження проведені для режиму максимальних та мінімальних навантажень, зі зміною місця обриву проводу в прольоті. Процес обриву проводу розділено на два періоди: перший триває від моменту розриву проводу і до моменту падіння проводу на землю; другий — після падіння проводу на землю. Для першого періоду визначався час падіння проводу на землю. Проведені дослідження показали, що цей час в залежності від місця обриву проводу в прольоті та кліматичних умов може коливатись в межах від 1,2 с до 1,7 с, тобто є достатнім для фіксації параметрів та величин аварійного стану як в перехідному, так і в усталеному режимах. В результаті досліджень виявлено, що у першому періоді обриву проводу найбільш чутливою величиною до зміни місця обриву є струм зворотної послідовності.

Для прикладу на рис. 1а показана топологічна схема розподільної мережі, яка живиться від підстанції 6—35 кВ «Соболівка Ф 21». На рис. 1б показано графік зміни струму зворотної послідов-

ності у разі обриву проводу, в режимі мінімальних навантажень, а також гранично допустиме (ГД) та нормально допустиме (НД) значення струмів зворотної послідовності, які дозволяють визначити зону чутливості [5]. З рисунку випливає, що значення струмів зворотної послідовності на початку лінії у разі обриву проводу в точках 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 перевищують ГД та НД значення струму зворотної послідовності, що свідчить про достатню чутливість цієї величини до обриву проводу.

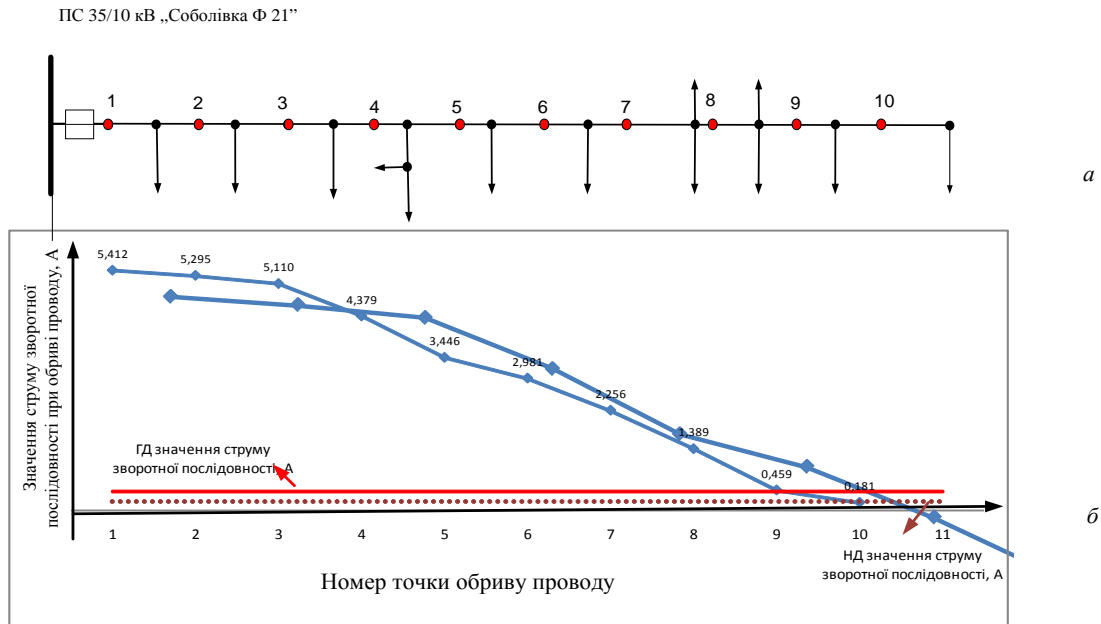


Рис. 1: *a* — топологічна схема РЕМ; *б* — графік зміни струму зворотної послідовності при обриві проводу. Режим мінімальних навантажень

Аналогічні дослідження проведені для другого періоду обриву проводу. Виявлено, що у другому періоді обриву проводу, після його падіння на землю, найчутливішим параметром є напруга нульової послідовності (рис. 2).

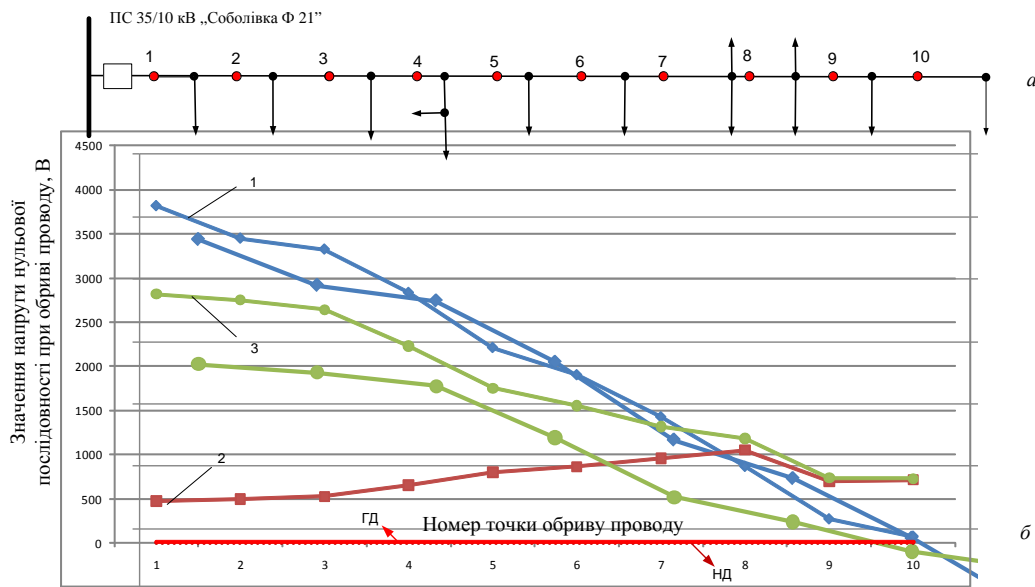


Рис. 2: *a* — топологічна схема РЕМ; *б* — графік зміни напруги нульової послідовності при обриві проводу. Режим мінімальних навантажень; 1 — обрив проводу на початку прольоту; 2 — обрив проводу в середині прольоту; 3 — обрив проводу в кінці прольоту

На рис. 2 зона нечутливості характеризується ГД та НД значеннями напруги нульової послідовності, які в режимі мінімальних навантажень становлять 0,0168 кВ та 0,0042 кВ, відповідно. Значення напруги нульової послідовності у разі обриву проводу, як на початку, так і в кінці лінії пе-

ревищують значення ГД та НД, тому напругу нульової послідовності можна вважати інформативною ознакою обриву проводу.

Контроль струмів зворотної послідовності у першому періоді обриву проводу і напруги нульової послідовності у другому, дозволить швидко і безпомилково виявити такий небезпечний режим роботи розподільної електричної мережі (РЕМ) як обрив проводу.

З метою автоматизації процесу визначення місця обриву проводу проводилось дослідження достовірності використання локаційного методу, який успішно застосовується для пошуку пошкоджень в лініях зв'язку. Застосування локаційного методу в мережах з деревоподібною топологією значно ускладнюється за рахунок значної кількості неоднорідностей, головним чином створених відгалуженнями. При відбитті імпульсів від кінця лінії, кінців відгалужень, місць під'єднань відгалужень на рефлектограмі виникає велика кількість імпульсів. Для розшифровки таких рефлектограм проведено дослідження імпульсної реакції кожної неоднорідності яка має свій опір. Для проведення експериментальних досліджень використовувався рефлектометр РЕЙС-105Р, який забезпечує тривалість імпульсів зондування в межах  $\tau = 0,007 \dots 10$  мкс [6]. Для моделювання лінії використано мідний багатожильний провідник діаметром 2 мм. Хвильовий опір створеної повітряної лінії дорівнює 427 Ом, опір навантаження в процесі експерименту змінювався. Створена лінія довжиною 20 м складається з ряду спаяних відрізків проводів, що відповідає реальним повітряним лініям електропередачі, які також складаються зі з'єднаних між собою ділянок. Місце спайки відрізків, залежно від якості з'єднання, може створювати невелику неоднорідність лінії, що може проявлятися на рефлектограмах у вигляді зміни форми відбитих сигналів (рис. 3).

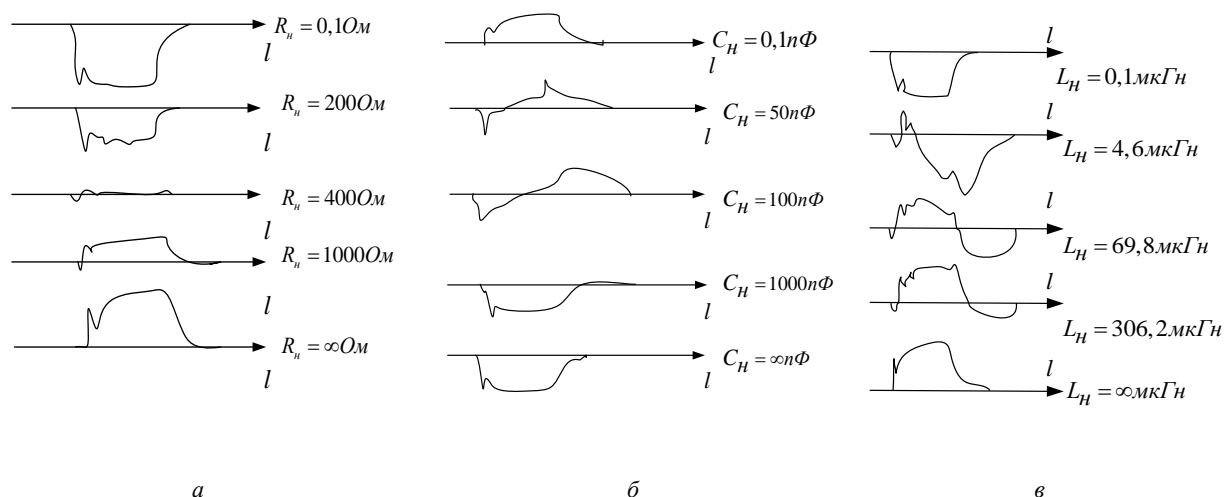


Рис. 3. Залежність форми відбитого імпульсу від зміни величини:  
 а — активного навантаження; б — ємнісного навантаження; в — індуктивного навантаження  
 на кінці повітряної лінії, якщо довжина зондувального імпульсу 0,1 мкс.

Аналіз отриманих результатів показав, що у разі проходження сигналом границі між більшим і меншим хвильовими опором відбитий імпульс змінює свою полярність на протилежну; у випадку проходження сигналом границі між меншим і більшим хвильовими опором, імпульс зберігає свою полярність, при цьому в лінії виникає режим змішаних хвиль. У разі рівності опорів навантаження і хвильового опорів лінії відбиття в лінії відсутні, вся випромінювана потужність виділяється на опорі навантаження і в лінії створюється режим стрімких хвиль. Дослідження показали, якщо опір навантаження менший або дорівнює половині хвильового опорів лінії, то в лінії встановлюється режим, близький до короткого замикання, а якщо опір навантаження більший або рівний п'яти хвильовим опорам лінії, то виникає режим, близький до холостого ходу.

Для ефективної передачі енергії по електричним проводам необхідно узгодити опір навантаження із хвильовим опором лінії, тобто необхідно зменшити відбитий сигнал. При діагностуванні ЛЕП локаційним методом, навпаки, чим більша амплітуда імпульсу, відбитого від неоднорідності досліджуваної лінії, тим легше він виділяється на фоні інших відбитих імпульсів. Для розпізнавання рефлектограм особливу роль відіграє імпульс, відбитий від кінця лінії або від кінця відгалуження. У реальних розподільних мережах значення величини опорів навантаження відрізняється від значення величини хвильового опорів. Навантаженням лінії є обмотки трансформаторів, які

можуть бути відключені, тоді опір навантаження близький до нескінченності. Якщо локаційним методом досліджуються неоднорідність опору, що перебуває не на кінці лінії, то поряд з імпульсами, відбитими від них, на рефлектограмі будуть присутні й імпульси, відбиті від кінця лінії.

На рис. 4 показана рефлектограма лінії з одним відгалуженням, кінець лінії та відгалуження розімкнено. На рисунках розміри ліній і відповідні їм рефлектограми подані в одному масштабі.

На рефлектограмі добре видно імпульси, відбиті від неоднорідностей лінії (місце приєднання відгалуження — вузол Б, в кінці відгалуження — вузол В і лінії — вузол Г). У місці

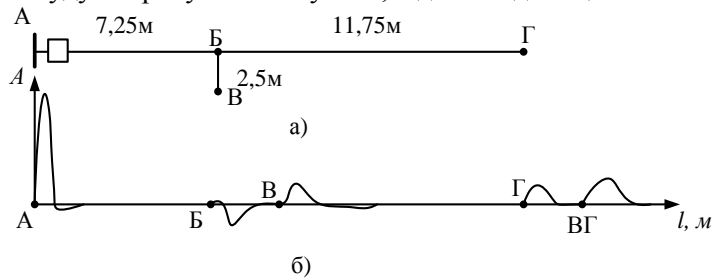


Рис. 4 : а — схема лінії з одним відгалуженням;  
б — відповідна їй рефлектограма

приєднання відгалуження відбитий імпульс Б має від'ємну полярність, а імпульси, що відбилися від розімкнутого кінця відгалуження — імпульс В і від розімкнутого кінця лінії — імпульс Г, мають додатну полярність. Імпульс ВГ є сумою амплітуд двох імпульсів, що пройшли однакові відстані, але різними шляхами: перший шлях — через вузли АБВБ'ГБА, другий шлях — через вузли АБГБ'ВБА, тому сумарна амплітуда цього імпульсу більше амплітуди імпульсу Г. Відстань, пройдену імпульсом ВГ, можна використати як контрольну в аналізі рефлектограм.

Дослідження показали, що зміна опору лінії на будь якій ділянці, відображається на рефлектограмі у вигляді відбитого імпульсу. В місці обриву проводу виникає неоднорідність, опір якої створює відбитий імпульс, тому при зондуванні лінії місце обриву проводу буде чітко відображене на рефлектограмі, і виявлене порівнянням з рефлектограмою, знятою в нормальному режимі роботи.

#### Висновки

Запропоновано захист, який базується на вимірюванні струму зворотної послідовності до моменту падіння проводу на землю і напруги нульової послідовності після моменту падіння проводу на землю, та локаційний метод, що дозволяє точно і швидко виявити місце обриву проводу в розгалужених повітряних лініях електропередачі напругою 6—35 кВ.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Шабад М. А. Расчёты релейной защиты и автоматики распределительных сетей / М. А. Шабад // ИЭИПК. — 2003. — № 4. — 350 с.
2. Шабад М. А. Новые аппаратные и программные решения при определении мест повреждения / М. А. Шабад, В. Я. Шмурьев // Энергетик. — 2001. — № 4. — С. 22—24.
3. Шалыт Г. М. Определение мест повреждения воздушных и кабельных линий электропередачи : сб. стат. / Г. М. Шалыт. — М.—Л. : Энергия, 1966. — С. 26—47.
4. Шалыт Г. М. Определение мест повреждений ЛЭП : сб. стат. / Г. М. Шалыт. — М. : Энергия, 1977.
5. Якість електроенергії : ДСТУ 13109-97. — [Чинний від 1999—18—06]. № 354. — К. : Держстандарт України, 1999.
6. Кутіна М. В. Метод виявлення обриву лінії в повітряних розподільних мережах напругою 6—35 кВ / М. В. Кутіна, М. О. Ілюхін // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського. — 2009. — № 4 (57). — Ч. 1. — С. 166—167. — ISSN 1995-0519.

Рекомендована кафедрою електричних станцій та систем

Стаття надійшла до редакції 10.10.2011  
Рекомендована до друку 10.11.2011

**Кутіна Марина Василівна** — аспірантка кафедри електричних станцій та систем.

Вінницький національний технічний університет, Вінниця