

УДК 631.171:621.311

**УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЬ
ОДНОФАЗНИХ ЗАМИКАНЬ НА ЗЕМЛЮ В МЕРЕЖАХ 10 та 35 кВ****Коваленко Л.Р., к.т.н.,****Коваленко О.І., к.т.н.***Таврійський державний агротехнологічний університет*

Тел. +38 (061 92)42 11 74

Анотація – В статті проведено аналіз видів пошкоджень, які можуть виникнути в розподільних електричних мережах 10 та 35 кВ. Розроблено методику та алгоритм дистанційного визначення місця однофазного замикання на землю.

Ключові слова: повітряна лінія, однофазне замикання на землю, метод стоячих хвиль.

Постановка проблеми. Досвід експлуатації систем електропостачання показує, що значна кількість перерв в подачі електроенергії до споживачів відбувається при аварійному відключенні ліній електропередач в результаті їх пошкодження.

Причинами пошкоджень повітряних ліній, в тому числі і однофазних замикань на землю (ОЗЗ), є впливи природних і технічних факторів. До природних факторів відносяться вітер, ожеледь, перепад температур, атмосферні перенапруги, до технічних – короткі замикання, руйнування ізоляторів, внутрішні перенапруги, порушення правил технічної експлуатації, та ін.

Однією з першорядних задач, що стоїть перед експлуатаційним персоналом електричних мереж, є оперативний пошук та локалізація місць ОЗЗ повітряних ліній. Вирішити цю задачу можна за допомогою удосконалення методів визначення місць ОЗЗ, що дозволить значно підвищити оперативність діагностування та усунення пошкоджень.

Вплив значної кількості факторів на лінію значно ускладнює процедуру пошуку місць пошкоджень, що збільшує час на проведення операцій та витрати на визначення місця пошкодження. Тому існує задача створення ефективних методів і засобів, які дозволять врахувати неоднорідність та складну топологію розподільних мереж для підвищення рівня автоматизації та точності визначення місця ОЗЗ.

Аналіз останніх досліджень. Відомо, що серед топографічних методів визначення місця ОЗЗ можливе застосування індукційного,

потенціального та електромеханічного методів. Для дистанційного визначення місця пошкодження при відключеній від мережі лінії найбільшого поширення набули імпульсний метод, метод петлі і метод коливального розряду. Методи без відключення пошкодженої лінії в мережах 10 та 35 кВ в даний час не отримали широкого застосування. Найбільш досліджені хвильові методи, які використовують розрядну або зарядну стадії перехідного процесу, а також методи, засновані на накладанні струмів непромислової частоти [3- 6].

Формулювання цілей статті. Метою даної роботи є удосконалення існуючих методів пошуку місця однофазного замикання на землю в лініях напругою 10 та 35 кВ для скорочення часу відшукування пошкодження та підвищення надійності електропостачання в цілому.

Основна частина. Основними причинами пошкодження повітряної лінії електропередачі є: ожеледяно-вітрові навантаження, перекриття ізоляції внаслідок грозових розрядів, пошкодження опор і проводів автотранспортом та іншими механізмами, дефекти виготовлення опор, проводів, ізоляторів, перекриття ізоляції через гілки дерев, невідповідність опор, проводів, ізоляторів, клімату, неправильний монтаж, не дотримання правил ремонту і заміни обладнання [1-3].

Для отримання кількісної характеристики пошкоджень було проаналізовано пошкоджуваність (за даними Вільнянського РЕМ, ВАТ «Запоріжжяобленерго») у повітряних розподільних мережах напругою 10 та 35 кВ за десять останніх років. Середня кількість пошкоджень у рік складає 56 одиниць (100%).

Причини виникнення пошкоджень розподілилися в такий спосіб: пробій ізоляторів 19 (34%); обрив провідників 15 (27%); пробій і пошкодження розрядників 5 (9%); обрив в'язок 4 (7%); інше 13 (23%)

Кількість пошкоджень ліній, що супроводжується стійкими однофазними замиканнями на землю, становить 63,2 %, міжфазними короткими замиканнями – 9,7 %, подвійними замиканнями на землю – 5,2 %, обривом проводу – 6,2 %, інших – 15,7%.

Замикання на землю в мережах 10 та 35 кВ нерідко призводять до аварій, що супроводжуються значними збитками. З'являються перенапруги близько 2,4–3,5 кратних в порівнянні з фазною напругою, що може привести до пробію ізоляції непошкоджених фаз і переходу ОЗЗ в подвійне замикання на землю, що за своїми характеристиками близьке до двофазного короткого замикання [1, 2].

На повітряних лініях ОЗЗ часто відбувається при обриві проводу і падіння його на землю. При цьому виникає небезпека ураження людей і тварин електричним струмом. Особливо велику небезпеку такий вид пошкоджень становить у випадку коли повітряна лінія проходить по густонаселених районах [1].

У результаті тривалого протікання струму ОЗЗ ґрунт біля опори висихає, зростає його опір, в результаті чого збільшується небезпека ураження людей напругою кроку або напругою дотику. Якщо ОЗЗ довго не відключається, істотно підвищується ймовірність виникнення пожеж, наприклад в шафах розподільних пристроїв трансформаторних підстанцій, через виникнення високотемпературної дуги в місці ОЗЗ [4, 5].

Отримані статистичні дані говорять про те, що більшість однофазних замикань на землю припадає на мережі 10 та 35 кВ, і їх виникнення частіше за все пов'язано з пошкодженням повітряної лінії.

Аналіз методів визначення місць ОЗЗ виявив, що серед топографічних методів можливе застосування індукційного, потенціального, акустичного та електромеханічного методів. Для дистанційного визначення місця ОЗЗ при відключеній від мережі лінії найбільшого поширення набули імпульсний метод, метод петлі і метод коливального розряду. Для дистанційного визначення місця ОЗЗ без відключення ліній найбільш досліджені хвильові методи, які використовують розрядну або зарядну стадії перехідного процесу, а також методи, засновані на накладанні струмів непромислової частоти.

Запропоновано використовувати для визначення місця ОЗЗ в мережах напругою 10 та 35 кВ метод стоячих хвиль, так як його можливо застосовувати і на повітряних лініях електропередачі [3-5].

Суть методу стоячих хвиль полягає в тому, що до відключеної пошкодженої повітряної лінії приєднують джерело періодичного (синусоїдального) сигналу високої частоти. При досить високих частотах лінію електропередачі розглядають як довгу лінію, тобто як лінію з розподіленими параметрами. Напруга і струм у довгій лінії є функціями двох незалежних змінних: часу t і просторової координати x , яка визначає місце на лінії, в якому розглядається струм або напруга [6].

При синусоїдальній напрузі джерела живлення, напругу в будь-якій точці довгої лінії можна представити у вигляді суми двох доданків

$$U = U_m^+ e^{j\alpha x - \gamma x} + U_m^- e^{j\alpha x - \gamma x}, \quad (1)$$

де U_m^+ – комплексна амплітуда прямої хвилі напруги;

U_m^- – комплексна амплітуда зворотної хвилі напруги;

γ – постійна розповсюдження.

Якщо вважати момент часу фіксованим (наприклад, $t = 0$) і розглядати зміну миттєвого значення напруги вздовж лінії, в залежності від координати x , то кожне з доданків виразу (1) описує гармонійну хвилю напруги. Хвиля, що описується першою складовою, носить назву прямої або падаючої хвилі. Поширення хвилі характеризується постійною поширення, яку представляють у вигляді

$$\gamma = \alpha + i\beta, \quad (2)$$

де α – коефіцієнт затухання;
 β – коефіцієнт фази.

Точка, фаза коливань в якій залишається постійною, переміщається зі швидкістю руху хвилі і називається фазовою швидкістю

$$v = \frac{2\pi f}{\beta}, \quad (3)$$

де f – частота змінної напруги, Гц.

Відстань між двома найближчими точками вздовж лінії

$$\lambda = \frac{2\pi}{\beta}, \quad (4)$$

Хвиля, яка описується другим доданком в (1), називається зворотною чи відображеною. Якщо падаюча синусоїдальна хвиля затухає (спадає по амплітуді) при русі від початку лінії до кінця, то відбита хвиля затухає при переміщенні від кінця лінії до початку [1].

Досліджуючи зміну амплітуди напруги при плавному підвищенні частоти джерела, можна зафіксувати першу частоту f_1 , при якій спостерігається максимум напруги. Перший максимум спостерігається при $k = 0$. Тоді відстань до місця пошкодження (місця ОЗЗ)

$$l_k = \frac{v}{4 \cdot f_1}, \quad (5)$$

де f_1 – частота джерела досліджуваної напруги, при якій спостерігається максимум напруги (струму) на початку лінії, Гц.

Форма хвилі напруги та її положення відносно лінії не залежать від часу. Тому таку хвилю називають стоячою. Частота джерела коливань повинна бути дуже високою. Наприклад, при $v = 3000 \text{ км/с}$ та відстанню до місця пошкодження $l_k = 1 \text{ км}$ можна отримати, що частота джерела повинна бути $f_1 = 300 \text{ кГц}$, а при $l_k = 100 \text{ м}$, $f_1 = 3 \text{ МГц}$. Тому даний метод визначення місця ОЗЗ є високочастотним.

Якщо вирішувати (5) відносно f_1 , то отримаємо вираз для власної частоти лінії

$$f = \frac{v}{4 \cdot l}, \quad (6)$$

де l – довжина лінії, м.

Встановлено, що при замиканні на землю, в місці пошкодження присутній перехідний опір. Він має активний характер та позначається R_n .

При наявності перехідного опору, амплітуда струму на початку лінії буде зменшуватись.

Отримані залежності струму вздовж лінії при наявності перехідного опору в місці пошкодження лінії. Залежності при значеннях $0 \leq R_n \leq 500$ Ом представлені на рисунку 1. Згідно отриманих результатів, наявність перехідного опору R_n в місці пошкодження, впливає лише на зміну амплітудного значення струму на початку лінії [4-6].

Встановлено, що при $R_n \leq 100$ Ом похибка в визначенні відстані до місця ОЗЗ не перевищує 1 %. При збільшенні перехідного опору до 500 Ом, похибка лінійно зростає до 3,5%. Залежність похибки визначення відстані до місця пошкодження від R_n представлена на рисунку 2. Величина перехідного опору при пробі лінійного ізолятора може досягати 100–200 Ом. При падінні провада на землю або сніг R_n може досягати декількох кОм [6].

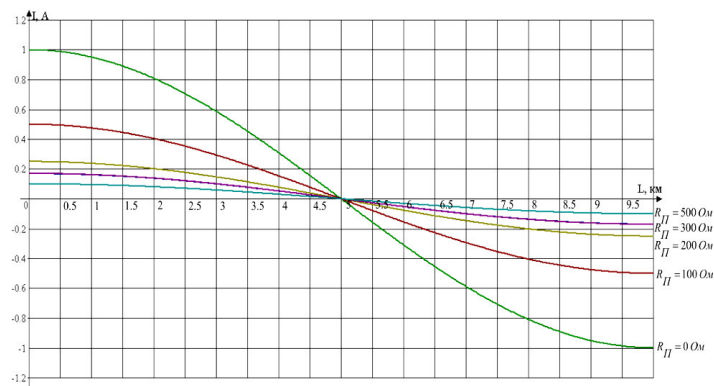


Рис. 1. Залежність розподілення струму вздовж лінії при різних значеннях R_n .

Розроблені методика і алгоритм дистанційного визначення місця пошкодження повітряної лінії методом стоячих хвиль :

1. Виконується підключення джерела синусоїдального сигналу високої частоти до одної з непошкоджених фаз лінії електропередачі.
2. Здійснюється введення вхідних даних: довжини лінії L_0 .
3. Значення довжини лінії прирівнюється до початкового значення $L_i = L_0$.
4. Приймається початкове, нульове, значення струму на початку лінії $b=0$.

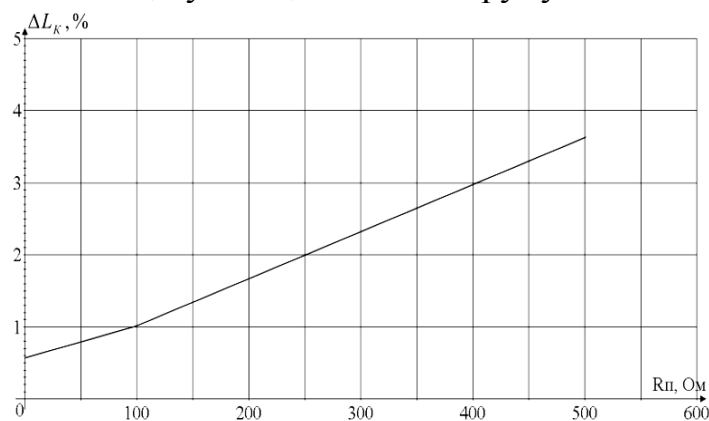


Рис. 2. Залежність похибки визначення відстані до місця пошкодження від перехідного опору R_n .

5. Виконується генерація синусоїдального сигналу.
6. Визначається значення струму в лінії при частоті f_i , $a = I_n$.
7. Виконується порівняння отриманого та заданого значення струмів в лінії $a < b$. Якщо ця умова не виконується, то цикл повинен повторитися, при цьому значення b прирівнюється до a . Довжина лінії L_i зменшується на величину ΔL .
8. Після того, як визначено максимальне значення струму в лінії та умова $a < b$ виконується, цикл на цьому завершується і останнє значення частоти $f_l = f_i$ зберігається.
9. Для визначення відстані до місця пошкодження виконуються аналогічні вимірювання на пошкодженій фазі лінії електропередачі. Тільки при цьому враховується резонансна частота для пошкодженої ділянки $f_2 = f_i$.
10. На основі отриманих даних вимірювань виконується визначення відстані до місця пошкодження.

Висновки. 1. Виявлено, що найчастішим видом пошкодження ліній 10 та 35 кВ є однофазне замикання на землю, яке може призвести до втрат електроенергії та аварійних режимів.

2. На основі проведеного аналізу обґрунтовано використання методу стоячих хвиль для визначення місця пошкодження. Метод застосовується на повітряних лініях, має високу точність визначення місця пошкодження.

3. Визначено залежність точності визначення місця ОЗЗ методом стоячих хвиль від перехідного опору лінії в місці замикання. При зміні перехідного опору від 100 до 500 Ом, похибка визначення місця ОЗЗ становить від 1 до 3,5%

4. Застосування методу стоячих хвиль для визначення ОЗЗ в лініях 10 та 35 кВ дозволить зменшити час на пошук ОЗЗ та скоротити перерви в електропостачанні.

Список використаних джерел.

1. *Кутін В.М.* Методи та засоби пошуку пошкоджень в розподільчих мережах з повітряними лініями електропередачі напругою 6-35 кВ: монографія/*В.М. Кутін, В.В. Луцяк.* – Вінниця: ВНТУ, 2011–160 с.
2. Пат. України №84934 МПК H02G 7/16 Система сигналізації та плавки ожеледі на проводах повітряної лінії / *Л.Р. Коваленко, О.І. Коваленко, Щербакова О.І.* опубл. 11.11.2013., Бюл. № 21.- с.4.
3. *Борухман В.А.* Устройства для определения мест повреждения на воздушных линиях электропередачи 6 – 750 кВ / *В.А. Борухман, А.А. Кудрявцев, А.П. Кузнецов* – 2-е изд., перераб. – М. : Энергия, 1990. – 104с.
4. Автоматизированные методы и средства определения мест повреждения линий электропередачи : Уч . пособие / *О . Г.Гриб , .А Светелик, Г .А .Сендерович , Д . Н .Калюжный .* Под общей редакцией *О . Г. Гриба.* – Харьков.: ХГАГХ , 2003. -146 с.

5. *Цапенко Е. Ф.* Замыкание на землю в сетях 6-35кВ/*Е. Ф. Цапенко* -М.: Энергоиздат, 1986. - 128 с.
6. Пат. Україна № 52890 МПК G01R 31/11 Спосіб визначення місця та типу пошкодження у розгалуженій повітряній мережі 6-35 кВ / *Коваленко Л.Р., Коваленко О.І., Щербакова О.І.* опубл.25.06.2014, Бюл.12.

**УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТ
ОДНОФАЗНЫХ ЗАМИКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ
В СЕТЯХ 10 И 35 кВ**

Л.Р. Коваленко, А.И. Коваленко

Аннотация - в статье проведен анализ видов повреждений, которые могут возникнуть в распределительных сетях 10 и 35 кВ. Разработаны методика и алгоритм дистанционного определения места однофазного замыкания на землю.

**IMPROVEMENT OF METHODS OF DETERMINING
THE LOCATIONS OF MONOPHASE LINE TO GROUND
FAULT IN NETWORKS 10 AND 35 kV**

L. Kovalenko, A. Kovalenko

Summary

The analysis of types of damages that can arise up in distributive networks 10 and 35 kV. Is worked out algorithm and methodology of the controlled from distance location of shorting is line to ground.