

УДК 621.316.37

О.Ю. Егорова, О.Б. Егоров, Т.А. Карова

Українська інженерно-педагогічна академія, Харків

## ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЯ ПОШКОДЖЕННЯ ПЛЕП

У статті наведений порівняльний аналіз методів визначення місця пошкодження у повітряних лініях електропередавання. Розглянуто перспективи застосування автоматизованих методів визначення місця пошкодження з використанням ЕОМ. Метод дозволяє визначити швидко та без застосування додаткових витрат місце пошкодження повітряних ліній електромереж.

**Ключові слова:** ліній електропередачі, короткі замикання, визначення місця пошкодження, параметри аварійного режиму (ПАР), однобічне ВМП по ПАР, двосторонні методи ВМП по ПАР, дистанційні методи ВМП, топографічні методи ВМП.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Порушення нормального режиму роботи електроенергетичних систем, як правило, відбуваються через пошкодження її елементів, зокрема, ліній електропередачі (ЛЕП). Причинами пошкоджень ЛЕП є впливи природних і технічних факторів. До природних факторів відносяться вітер, ожеледь, перепад температур, атмосферні перенапруги, до технічних – короткі замикання (КЗ), внутрішні перенапруги, порушення правил технічної експлуатації й т.п.

Проведення періодичних оглядів, профілактичних вимірів і випробувань не гарантує безвідмовної роботи ПЛ. У практичній експлуатації завжди мають місце випадкові uszkodження ПЛ: однофазні й багатофазні замикання, обриви проводів і інші uszkodження. Однією з важливих завдань експлуатації ПЛ є швидке визначення місця uszkodження й проведення ремонтно-відбудовчих робіт. При великій довжині й розгалуженості розподільних мереж зазначене завдання може ефективно вирішуватися тільки при використанні спеціальних технічних засобів, що визначають uszkodжену лінію й відстань до місця uszkodження.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Пошкодження ЛЕП приводить до порушення елект-

ропостачання, зниженню якості й підвищенню втрат електричної енергії. Беручи до уваги якісний склад споживачів електроенергії, де комп'ютерні технології займають головне місце, збиток від недовідпускання й зниження якості електричної енергії виявляється значним. Це пояснюється тим, що комп'ютерна техніка чутлива до збоїв електропостачання й низькій якості електричної енергії, що є причиною збоїв безперервних технологічних циклів, втрати інформації, псування програмних продуктів і т.п. Варто також помітити, що підвищення втрат електроенергії приводить до росту витрат на транспортування електричної енергії. З урахуванням обмеженої кількості енергоресурсів ці витрати також виявляються значними. Для відновлення нормального режиму роботи електроенергетичних систем, скорочення збитку й витрат необхідно швидко й точно визначити місце uszkodжень ЛЕП. Питанню визначення місця uszkodження (ВМП) присвячена велика кількість робіт як вітчизняних, так і закордонних учених [1 – 3]. Основний внесок у теорію й практику ВМП ЛЕП внесли А.И. Айзенфельд, А.С. Малий, Г.М. Шалыт, Е.А. Аржанников, А.-С.С. Саухатас, В.Н. Аронсон, Ю.А. Лямец, Стингфилд, Швейтцер, Такаджи й ін.

**Мета статті:** порівняльний аналіз методів визначення місця пошкодження у повітряних лініях електропередачі

## Викладення основного матеріалу

Можна виділити дві основні групи методів визначення місця ушкодження, які доповнюють один одного по вимогах швидкості й точності ВМП. Перша група – топографічні методи, які задовольняють вимозі точності ВМП, але забирають значний час, друга група – дистанційні методи, що задовольняють вимозі швидкості, але менш точні в порівнянні з топографічними.

Топографічні методи ВМП засновані на визначенні топографічної точки місця пошкодження на трасі лінії за допомогою спеціальних пристроїв. Для реалізації ВМП топографічними методами необхідно при кожному пошкодженні лінії робити її обхід уздовж траси лінії. Це вимагає значного часу, що є істотним недоліком даної групи методів ВМП.

Дистанційні методи ВМП засновані на вимірі відстані до місця пошкодження від кінця або кінців ушкодженої лінії. Вони підрозділяються на імпульсні методи й методи ВМП по параметрах аварійного режиму (ПАР).

Імпульсні методи засновані на вимірі часових інтервалів поширення електромагнітних хвиль по лініях. Для їхньої реалізації розроблені автоматичні й неавтоматичні вимірники. Автоматичні локаційні шукачі пошкоджень забезпечують визначення місця пробоя ізоляції й обриву в будь-яких випадках. Неавтоматичні шукачі придатні лише при пошкодженні ізоляції з перехідним опором менш 1-2 кОм або обриву проводів. Недоліком імпульсних методів ВМП є зниження їхньої ефективності при порушенні однорідності лінії за рахунок появи «паразитних» відбиттів імпульсів.

Методи ВМП по ПАР засновані на вимірах параметрів аварійного режиму й залежно від установки вимірювальних пристроїв по кінцях ушкодженої лінії підрозділяються на одне- і двосторонні.

Двосторонні методи ВМП по ПАР, засновані на теорії багатополісників, припускають наявність повної й синхронізованої інформації із двох кінців лінії. Для цього необхідна установка фіксуєючих приладів із двох кінців ушкодженої лінії, засоби або методи синхронізації, а також наявність каналів зв'язку.

Двосторонні методи ВМП по ПАР є найбільш точними. Однак вони мають ряд істотних недоліків, до яких належать їхня технічна реалізація, що вимагає значних капітальних вкладень, а також надійність, що залежить від правильної роботи фіксуєючих приладів із двох кінців лінії, засобів синхронізації показань цих приладів і каналів зв'язку.

Однобічне ВМП по ПАР засновані на рішенні рівняння петлі КЗ або використанні моделі лінії й вимагають наявності параметрів аварійного режиму з одного кінця ушкодженої лінії. Для їхньої ре-

лізації досить наявності одного фіксуєючого приладу на одному з кінців ЛЕП.

Недоліком однобічного ВМП по ПАР є погрішність одержання результатів через наявність методичних погрішностей, обумовлених невідомою інформацією. До останнього належить перехідний опір у місці пошкодження й система із протилежного виміру кінця лінії.

Для визначення місця ушкодження по параметрах аварійного режиму розроблені наступні пристрої:

– фіксуєючі прилади найбільше поширення яких одержали прилади типу ФІП, ФІП-1, ФІП-2, ЛИФП, ФПТ, ФПН і ФИС;

– цифрові програмно – апаратні комплекси на базі ЕОМ: «ЦПРС», «Рекон 06БС», «Регіна», «Нева», «Парма РП 4.06», «Парма РП 4.08», «Oscillostore Р 531», «Oscillostore Е 410» фірми Siemens;

– прийомний модуль релейного захисту й автоматики (ПМ РЗА) "Діамант".

Найбільше поширення одержали фіксуєючі прилади типу ФІП і ФИС. Так, загальна кількість фіксуєючих приладів типу ФІП, призначених для двостороннього ВМП, становить 70% від всіх установлених в енергосистемі, що фіксуєють приладів для однобічного ВМП типу ФИС – 3,3%. Нові пристрої, виконані на базі ЕОМ, починають тільки впроваджуватися і їхня кількість в енергосистемі обмежено.

Як показала експлуатаційна практика, відносно лінійне відхилення розрахункових відстаней до місць пошкоджень із використанням фіксуєючих приладів становить величину, рівну 5,4%. При цьому двостороннє й однобічне ВМП використовується спільно, а в ряді випадків однобічне ВМП є основним.

Технічні засоби для визначення місця пошкодження (ВМП) широко використовуються при експлуатації ПЛ всіх класів напруг. Залежно від класу напруги засобу ВМП можна розділити на два види: засоби ВМП у мережах з більшими струмами замикання на землю (110 – 220 кВ) і засоби ВМП у мережах з малими струмами замикання на землю (6...35 кВ).

Лінії електричних мереж з більшими струмами замикання на землю характеризуються досить великою довжиною. Методи й засоби ВМП засновані на вимірі й запам'ятовуванні параметрів аварійного режиму (струмів і напруг прямої, зворотної й нульової послідовності) і обчисленні відстані до місць пошкодження. У таких мережах використовуються, як правило, двосторонні методи, засновані на фіксації струмів і напруг по кінцях ПЛ.

Для виміру й запам'ятовування струмів і напруг використовуються напівпровідникові й мікропроцесорні фіксуєючі прилади. У порівнянні з напівпровідниковими, мікропроцесорні фіксуєючі прилади дозволяють реалізувати більше складні алгоритми ВМП, більше пристосовані до перепрограмування

при зміні параметрів мережі, більше точні. Досвід експлуатації мікропроцесорних приладів ВМП показав, що погрішність визначення відстані до місця пошкодження не перевищує 5 %.

При ушкодженні на контрольованій лінії засобу ВМП здійснюють у темпі процесу лише функції виміру й запам'ятовування струмів і напруг аварійного режиму. Обробка результатів виміру виконується вже після відключення лінії релейним захистом.

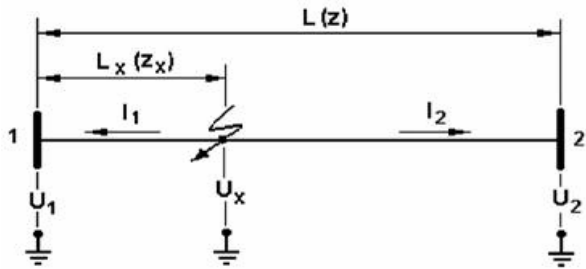


Рис. 1. Напруги й струми в лінії в момент пошкодження

Нехай у деякій точці лінії, що з'єднує підстанції 1 і 2, (рис. 1), відбувається пошкодження, наприклад однофазне коротке замикання. Індикатори, установлені по кінцях лінії, фіксують в аварійному режимі струми й напруги. Параметри аварійного режиму зв'язані співвідношеннями

$$\begin{aligned} U_1 + I_1 Z_X &= U_X; \\ U_2 + I_2 (Z - Z_X) &= U_X, \end{aligned} \quad (1)$$

де  $U_1, U_2, U_X$  – напруги нульової послідовності по кінцях лінії й у місці пошкодження;

$I_1, I_2$  – струми нульової послідовності по кінцях лінії;

$Z, Z_X$  – опору нульової послідовності лінії й ділянки до місця пошкодження.

Дорівнюючи ліві частини виразів (1), одержимо

$$Z_X = \frac{I_2 Z + U_2 - U_1}{I_1 + I_2}, \quad (2)$$

Поділивши праву й ліву частини останнього вираження на питомий опір проводів лінії  $Z_0$ , одержимо шукану відстань до місця пошкодження:

$$L_X = \frac{I_2 Z + U_2 - U_1}{Z_0 (I_1 + I_2)}. \quad (3)$$

Параметри лінії  $Z$  і  $Z_0$  уводяться із клавіатури пристрою при його установці. Величина  $L_X$  в кілометрах видається на дисплей пристрою. Можливість виключення з розрахункових виразів напруги  $U_X$  показує незалежність результату ВМП від опору в місці пошкодження.

Істотною особливістю структури розподільних мереж 6...35 кв є їхня розгалуженість. Відстані до

місць багатофазних замикань у цих мережах визначаються засобами ВМП, установленими на живильних підстанціях (однобічні засоби ВМП). Однак навіть висока точність цих засобів не дозволяє вказати місце пошкодження внаслідок розгалуженості мереж.

На рис. 2 показана розгалужена електрична мережа. Після відключення пошкодження вимикачем Q та визначення відстані до місця пошкодження виникає завдання визначення аварійної ділянки розгалуженої мережі, оскільки пошкодження в точках K1, K2 або K3 є рівновіддаленими від живильної підстанції.

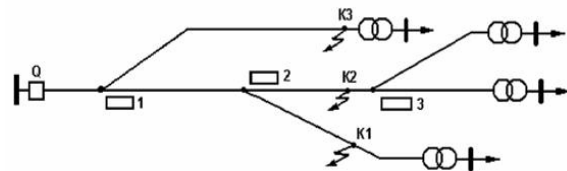


Рис. 2. Розміщення показників ушкодженої ділянки в розгалуженій мережі

Для орієнтування при пошуку місця пошкодження в місцях розгалуження мережі встановлюються показники ушкодженої ділянки, що фіксують факт протікання струму короткого замикання. По положеннях показників 1, 2 і 3 експлуатаційний персонал правильно визначає напрямок пошуку місця пошкодження. Зокрема, при замиканні в точці K1 факт протікання струму короткого замикання буде зафіксований тільки показником 1.

В електричних мережах з ізольованою нейтраллю (6...35 кв) струм однофазного замикання на землю має ємнісний характер, а по величині значно (на один-два порядків) менше струму навантаження.

Мала величина струмів замикання на землю виключає можливість застосування розглянутих вище методів і засобів ВМП.

Відповідно до Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів допускається робота мережі із заземленою фазою до усунення пошкодження; при цьому експлуатаційний персонал зобов'язаний відшукати й усунути пошкодження в найкоротший строк. Відшукування місця однофазних замикань на землю здійснюється за допомогою переносних приладів, що вимірюють поблизу ПЛ рівень магнітного поля струмів нульової послідовності.

Принцип визначення місця замикання на землю в розгалуженій мережі ілюструється схемою (рис. 3), що складається з ліній  $W_1, W_2, W_3$  і  $W_4$ . При замиканні у точці K через місце пошкодження протікають ємнісні струми нульової послідовності, що замикаються через розподілені ємності ліній, представлені на рис 3 зосередженими ємностями  $C_1, C_2, C_3, C_4,$  і  $C_5$ . Розподіл цих струмів у лініях мережі показано епорами.

Величини струмів, що розтікаються по лінії  $W_4$  уліво ( $I_{04}'$ ) і вправо ( $I_{04}''$ ) від місця замикання

пропорційні сумарним ємностям на землю:

$$I_{04}' = k(C_4' + C_1 + C_2 + C_3); \quad I_{04}'' = k(C_4''), \quad (4)$$

де  $k$  – коефіцієнт пропорційності.

Найбільший рівень ємнісних струмів нульової послідовності має місце в ушкодженій лінії до місця замикання, після якого рівень цих струмів різко зменшується.

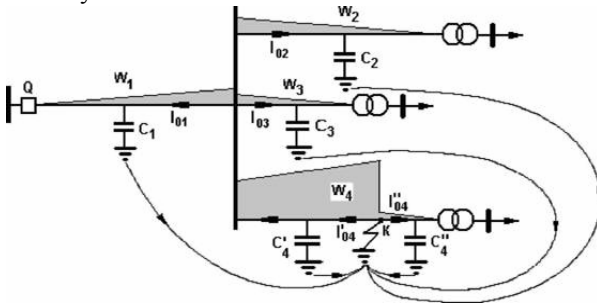


Рис. 3. Схема мережі й епюри показань переносного приладу в різних її ділянках

Застосування переносних приладів, що реагують на магнітні поля основної частоти (50 Гц), ускладнено внаслідок значного впливу на виміри робочих струмів ліній. Тому при пошуку місць замикань на землю використовують прилади, що реагують на вищого гармонійного складового магнітного поля струмів нульової послідовності. У цьому випадку вплив струмів навантаження на результати виміру істотно менше

### Висновки

1. Топографічне ВМП найбільш точне, але забирає значний час.
2. Імпульсне ВМП малоефективне на неоднорідних ЛЕП за рахунок появи «паразитних» відбиттів імпульсів.

3. Двостороннє ВМП по ПАР, хоч і має високу точність, однак вимагає значних капітальних вкладень і має невисоку надійність.

4. Однобічному ВМП по ПАР властива методична погрішність за рахунок наявності невідомої інформації, до якого відноситься перехідний опір у місці пошкодження й система із протилежного кінця ушкодженої лінії.

5. На сьогоднішній день ВМП ЛЕП має високу погрішність. Беручи до уваги якісні зміни, що відбулися в області вимірних засобів, а саме перехід від аналогових пристроїв до цифрових, виконаним на базі ЕОМ, з'являється можливість удосконалення методів і засобів ВМП. При цьому актуальним є вдосконалення найбільш дешевих і надійних методів і засобів однобічного ВМП по ПАР шляхом зменшення впливу невідомої інформації на точність одержуваних результатів.

### Список літератури

1. Аржанников Е.А. Методы и приборы определения мест повреждения на линиях электропередачи / Е.А. Аржанников, А.М. Чухин. – М.: НТФ «Энергопресс», 1998. – 250 с.
2. Попов М.Г., Мякушин М.Ю. Определение мест коротких замыканий на высоковольтных линиях электропередач / М.Г. Попов, М.Ю. Мякушин // Энергетик. – 2002. – № 10. – С. 35-37.
3. Айзенфельд А.И. Алгоритмические погрешности определения мест повреждения воздушных линий 110-750 кВ / А.И. Айзенфельд // Электрические станции. – 1998. – № 7. – С. 64-66.

Надійшла до редколегії 7.04.2009

Рецензент: канд. техн. наук, доцент І.В. Пантелєєва, Українська інженерно-педагогічна академія, Харків.

### СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТ ПОВРЕЖДЕНИЯ ВЛЭП

О.Ю. Егорова, О.Б. Егоров, Т.А. Карова

В статье приводится сравнительный анализ методов определения мест повреждения в воздушных линиях электропередач. Рассмотрены перспективы использования автоматизированных методов определения мест повреждения с использованием ЭВМ. Метод позволяет определить быстро и без применения дополнительных расходов место повреждения воздушных линий электросетей.

**Ключевые слова:** линии электропередач, короткие замыкания, определение мест повреждения (ОМП), параметры аварийного режима (ПАР), односторонние методы ОМП по ПАР, двухсторонние методы ОМП по ПАР, топографические методы ОМП.

### COMPARATIVE ANALYSIS OF METHODS OF LOCATION DAMAGE OF LINES OF ELECTRICITY TRANSMISSIONS

O.Yu. Egorova, A.B. Egorov T.A. Karova

The comparative analysis of methods of location damage in the air tenches of electricity transmissions is presented in the article. The prospects of the use of the automated methods of location damage are considered with the use of computer. A method allows to define quickly and without application of additional charges site of damage of air-tracks of the electric systems.

**Keywords:** lines of electricity transmissions, short circuits, location damage (LD), parameters of malfunction (PMF), one-sided methods of LD for PMF, two-sided methods of LD for PMF, topographical methods of LD.