

УДК 621.311.1

ЗАХИСТ ВІД АВАРІЙНИХ РЕЖИМІВ РОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖ ЗІ СКЛАДНОЮ ТОПОЛОГІЄЮ

Кутіна М.В., к.т.н., доц.

Вінницький національний технічний університет

21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95

E-mail: fpke@rambler.ru

Показано, что для повышения чувствительности защиты от аварийных режимов в воздушных и кабельных распределительных сетях 6-10 кВ релейную защиту желательно использовать на основе локационных методов. Распознавание рефлектограм, путем сравнения со стандартом, позволяет выявить как междуфазное короткое замыкание, так и обрыв фазного провода независимо от места и вида повреждений.

Ключевые слова: аварийный режим, контроль, распознавание рефлектограммы.

It is shown that for increasing the sensitivity of emergency state protection in air- and cable distribution networks of 6-10 kV the relay protection should be applied on the base of location methods. Reflectograms identification by the way of comparison with the standard allows defining the phase fault and broken phase wire despite of the place and type of the damage, and atomizing the damage place finding.

Key words: emergency state, control, reflectogram identification.

Вступ. Повітряні розподільні мережі напругою 6 – 10 кВ мають деревоподібну структуру, секціонуються за допомогою роз'єднувачів, мають компенсовану нейтраль, окремі ділянки облаштовуються провідниками різної марки і перетину. Це створює значні труднощі для захисту цих мереж від аварійних режимів. Існуючий захист від міжфазних к.з. не забезпечує необхідної чутливості при к.з. в кінці магістралі радіальної лінії або на відгалуженні, захист від обриву лінії взагалі не передбачено [1, 2].

Аналіз попередніх досліджень. Вважають, що обрив провідника супроводжується однофазним замиканням на землю. В залежності від місця розриву дроту відносно опори ЛЕП, можливі такі режими: замикання на землю з боку джерела, з боку електроприймача, в двох точках з джерела і з боку електроприймача. Дослідження процесів відповідно до ознак, які використовуються для реалізації захистів від однофазного замикання на землю [3, 4] показали, що при всіх інших рівних умовах, на чутливість захисту суттєво впливає вид обриву фазного дроту і величина опору в місці замикання. Значний опір в місці падіння дроту ($R_{пер} > 100 \text{ Ом}$) і різке зростання його з часом, внаслідок спікання ґрунту в місці замикання, зумовлює неспрацювання захисту. Виникає аварійний режим роботи повітряної лінії. В місці обриву дроту утворюється поле розтікання струму, в яке можуть потрапити люди і тварини. Крім цього виникає не врівноважена система електропостачання споживача, тому існує необхідність удосконалення захисту розподільних мереж зі складною топологією від аварійних режимів.

Мета роботи. Підвищення чутливості захисту від аварійних режимів роботи розподільчої мережі і автоматизувати процес визначення місця пошко-

дження шляхом застосування локаційного методу визначення несправності.

Матеріал і результати дослідження. Локаційний метод [5, 6] ґрунтується на вимірюванні часу між моментом посилення в лінію зондуючого електричного імпульсу і моментом надходження до початку лінії імпульсу відбитого від місця пошкодження. Локаційний метод широко застосовується для передачі інформації на велику відстань за допомогою електричних сигналів. Це телефонні, телеграфні лінії, лінії телекерування, телевимірювання і сигналізації. Локаційні методи можна розділити на імпульсні і хвильові. При локаційному імпульсному методі довжина імпульсу, який посиляється в лінію, менше ніж час проходження імпульсом можливої відстані між неоднорідностями лінії. При локаційному хвильовому методі довжина імпульсу, який посиляється в лінію, дорівнює або перевищує час проходження імпульсом можливої відстані між неоднорідностями лінії. Метод дозволяє з успіхом виявити як місця обриву так і короткого замикання в лініях з лінійною структурою.

Проведений аналіз вітчизняної і зарубіжної літератури не дозволив виявити випадки застосування локаційного методу для захисту від аварійних режимів в повітряних лініях з деревоподібною топологією. Принципово можлива локація розподільчої мережі з деревоподібною топологією. Але якщо в лініях з лінійною структурою від місця пошкодження відбивається один імпульс, то в лініях з деревоподібною топологією поряд з імпульсами, відбитими від місця пошкодження, будуть імпульси, зумовлені відгалуженням і великою кількістю інших неоднорідностей. Тому актуальними є такі задачі:

- розробка методу контролю неоднорідностей в умовах деревоподібної структури розподільної мережі;
- визначення діагностичних ознак неоднорідностей розподільних мереж з деревоподібною топологією;
- створення принципу розпізнавання рефлектограм з деревоподібною топологією;
- розробка принципової схеми захисту від аварійних режимів роботи розподільних мереж.

Для зондування лінії імпульсами напруги можна використати пристрій, який називається рефлектометром [5]. Він дозволяє визначити неоднорідність хвильового опору лінії. Спрощена схема рефлектометра показана на рис. 1.

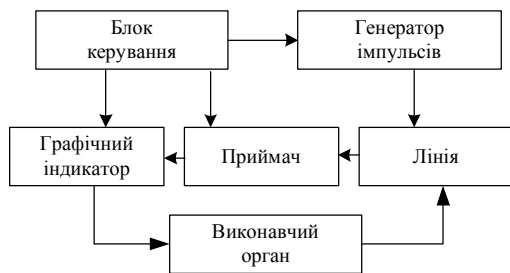


Рисунок 1 – Блок-схема імпульсного рефлектометра

З генератора імпульсів зондуючі імпульси подаються в лінію. Відбиті імпульси поступають з лінії в приймач, в якому здійснюються необхідні перетворення над ним. З виходу приймача перетворені сигнали потрапляють на графічний індикатор, який здійснює розпізнавання рефлектограм шляхом порівняння із стандартом або з попередньо знятою рефлектограмою при справній системі електропередачі.

Рефлектометри використовуються для роботи на лініях різного типу (повітряні і кабельні лінії електропередачі, лінії зв'язку, телемеханіки) і з різними характеристиками. При виборі параметрів рефлектометра важливою є така характеристика, як швидкість розповсюдження сигналу по лінії. У відповідності з цією характеристикою і вибирається коефіцієнт укорочення k , який показує, у скільки разів швидкість розповсюдження сигналу в лінії менше швидкості світла у вакуумі. В приладах передбачено можливість установки коефіцієнта укорочення у відповідності з типом лінії, а також регулювання вихідного опору для узгодження його з хвильовим опором лінії. При нерівності опорів відбувається повторне відбиття імпульсу від місця приєднання приладу до лінії електропередачі. В зв'язку з цим, перед початком зондування лінії необхідно узгодити вихідний опір приладу з хвильовим опором лінії.

Вибір діапазону вимірювання (D) визначається довжиною лінії (L_n). Діапазон вимірювання повинен на 10-20 % перевищувати максимальну довжину лінії, тобто $D \geq (1,1-1,2) L_n$.

В лініях електропередачі постійно існують перешкоди. Ефективним методом відстроювання від випадкових перешкод є цифрове накопичення сигналу. Суть цифрового накопичення полягає в тому,

що для одного й того ж випадку розглядають декілька рефлектограм і після їх додавання обчислюють усереднену рефлектограму, в якій їх рівень значно знижується, так як перешкоди носять асинхронний характер. Рефлектометр допускає запис 200 рефлектограм.

Вибір тривалості зондуючого імпульсу зводиться до того, щоб основна частина амплітудного спектру відбитого імпульсу $S_o(\omega)$ розташовувалась в тій же полосі частот, що і спектр зондуючого імпульсу $S_s(\omega)$:

$$S_o(\omega) = S_s(\omega) \cdot k(\omega),$$

де $k(\omega)$ коефіцієнт передачі ділянки хвильового каналу лінії.

При зондуванні прямокутним імпульсом з довжиною по основі τ_3 , лінія з довжиною L є оптимальним фільтром, якщо відбитий від її короткозамкнутого або обірваного кінця імпульс, повернувшись до початку лінії, перетворюється в квазітрикутний з довжиною по основі $2\tau_3$. Пристрої, які можна використовувати при зондуванні лінії, генерують послідовність прямокутних імпульсів з визначеною частотою і тривалістю в межах $0,81 \div 1,0$ мкс. Полоса пропускання мереж визначається, як $1/\Delta f = 1/\tau_3$ в залежності від довжини і складності конфігурації і знаходиться в інтервалі від 20 до 200 кГц, що визначає тривалість зондуючого імпульсу в межах $0,5-5$ мкс. Розподільча мережа є низькочастотним фільтром, тому імпульс, що проходить через такий фільтр, спотворюється за формою і запізнюється на час τ_0 . В імпульсі розрізняють амплітуду імпульсу U ; t_n – тривалість часу наростання (передній фронт) від $0,1U$ до $0,9U$; t_c – тривалість часу спадання імпульсу (задній фронт) від $0,9U$ до $0,1U$; тривалість вершини рівня $0,9 U$; τ – тривалість імпульсу на рівні $0,5U$.

Для під'єднання рефлектометра до лінії електропередачі облаштовують за допомогою апаратури канал високочастотного зв'язку ВЗ (рис. 2). Найбільш розповсюдженою схемою приєднання високочастотної апаратури до лінії електропередачі є схема "фаза-земля". Апаратура приєднується до одного із провідників лінії через конденсатор зв'язку КЗ, фільтр приєднання (ФП) і високочастотний кабель.

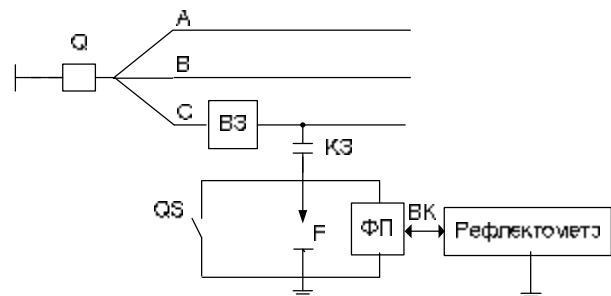


Рисунок 2 – Схема приєднання височастотної апаратури "фаза-земля"

Для захисту від перенапруг ФП і високочастотної апаратури використовується розрядник F. Роз'єднувач QS використовують при виконанні регулювання і ремонтних роботах.

При такій схемі приєднання високочастотної апаратури на двох інших фазах, внаслідок електромагнітного зв'язку з першою фазою, також з'являються імпульси, які розповсюджуються вздовж лінії. В розповсюдженні і відбитті імпульсів в розподільній мережі приймає участь вся система в цілому, а не тільки та фаза, до якої приєднано генератор, тобто існує канал "три фази-земля". Кожен канал характеризується власним хвильовим опором і швидкістю розповсюдження хвиль.

Процес розпізнавання рефлектограм є найбільш складним при контролі ліній електропередачі з деревовидною топологією. Процедура розпізнавання значно ускладнюється при значній кількості неоднорідностей. Експериментальні дослідження показали, що електричні імпульси відбиваються і деформуються не тільки в місцях пошкоджень, але і там, де порушується однорідність структури лінії, тобто змінюється її хвильовий опір. Величина відбитого імпульсу залежить від ступеня зміни хвильового опору лінії, який в свою чергу, залежить від геометричних розмірів і перетину провідників в лінії. Характерною неоднорідністю для повітряних ліній є місця транспозиції провідників, переходи через річки, озера, ділянки траси біля ярів, місця приєднання відгалуження від лінії. В переважній більшості кількість випадків, зміна хвильового опору в місці неоднорідності відбувається на всіх фазах лінії. Головна складність імпульсних вимірів є розпізнавання імпульсів, відбитих від місця пошкодження і від неоднорідностей лінії.

Величину відбитого сигналу при накладанні на лінію імпульсу напруги U можна визначити, як:

$$U_v = U \cdot K_C \cdot K_D \cdot K_3,$$

де K_C – коефіцієнт схеми, який залежить від схеми підключення імпульсного пошукача; K_D – коефіцієнт пошкодження, що визначається видом пошкодження, перехідним опором в місці пошкодження і ступенем нерівномірності хвильового опору вздовж мережі; K_3 – коефіцієнт затухання, що змінюється в широких межах в залежності від довжини лінії.

Найбільш типовими видами неоднорідностей на повітряних лініях є обрив і коротке замикання. Як показали теоретичні розрахунки і експериментальні дослідження рефлектограм, форми відбитих сигналів від обриву і короткого замикання різко відрізняються від інших неоднорідностей.

При короткому замиканні полярність імпульсу після відбиття змінюється на протилежну (до виникнення к.з. – додатна, після відбиття – від'ємна). В разі обриву полярність імпульсу не змінюється, але амплітуда суттєво відрізняється від амплітуди і форми сигналу, відбитого від неоднорідності. При однофазному замиканні на землю рефлектограма схожа на рефлектограму при міжфазному к.з. по формі, але відрізняється по амплітуді. Якщо довжина відга-

луження лінії відносно невелика, то імпульс, відбитий від кінця відгалуження, завжди більше імпульсу, що відбився від місця приєднання відгалуження. При значній довжині лінії відгалуження співвідношення амплітуд вище згаданих імпульсів може зменшитися на протилежне за рахунок збільшення затухання.

Проводилось дослідження різних методів розпізнавання рефлектограм. Найкращим з них є різницевий, який ґрунтується на відніманні еталонної рефлектограми, знятої в нормальних умовах, від рефлектограми, знятої при зміні стану лінії. Найбільш чутливим виявився різницевий метод до визначення короткого замикання і місця його виникнення.

Однозначне визначення точок приєднання відгалужень і їх кінців і, відповідно, відстані до них, достатньо складно при великій кількості відгалужень на лінії ($n > 3$), розташованих в кінці лінії при відносно малій відстані між ними. Ефективність різницевого методу можна суттєво підвищити за рахунок побудови алгоритму на основі комп'ютерної програми та застосування мікропроцесора не тільки для виявлення аварійного режиму, але і визначення відстані до місця пошкодження.

Висновки. Локаційні методи визначення пошкодження в лінійних структурах кабельного виконання є достатньо відомими і з успіхом використовуються на практиці. Проведені дослідження показали, що їх можна застосовувати і на лініях зі складною топологією. Локаційний метод виявлення аварійного режиму може бути селективним, бистродіючим, чутливим, універсальним, так як дозволяє виявити не тільки пошкодження, але і автоматизувати процес визначення місця пошкодження.

БІБЛІОГРАФІЧНІ ДАНІ

1. Зорин В.В., Тисленко В.В., Клепель Ф., Адлер Г. Надежность систем электроснабжения. – К.: Высшая шк., 1984. – 192 с.
2. Цепенко Е.Ф. Замыкание на землю в сетях 6 – 35 кВ. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 120 с.
3. Кутін В.М., Кульматицкий О.И. Диагностирование электрических распределительных сетей. – К.: Техника, 1993. – 160 с.
4. Пивняк Г.Г., Шкрябець Ф.П., Дворников А.А. Аварийные токи при обрыве фазного провода воздушной ЛЭП // Гірнична електромеханіка та автоматика: Наук. – техн. зб. – 2003. – Вип. 70. – С. 9-15.
5. Шалит Г.М. Определение мест повреждения линий электропередачи импульсным методом. – М.: Энергия, 1968. – 216 с.
6. Минуллин Р.Г., Садреев Т.А. Определение места дуговых коротких замыканий на воздушных линиях электропередачи методом электромагнитного мониторинга // Известия ВУЗ. Проблемы энергетики № 1. – 2, 2001. – С. 81 – 89.

Стаття надійшла 20.04.2007 р.
Рекомендовано до друку д.т.н., проф.
Родькіним Д.И.