

ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ ЛОКАЦІЙНОГО МЕТОДУ ПОШУКУ ПОШКОДЖЕНЬ В СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ НАПРУГОЮ 6—35 кВ

¹Вінницький національний технічний університет

Запропоновано метод візуального логічного аналізу рефлектограм, отриманих при зондуванні систем електропостачання з повітряними лініями електропередач та складною топологією напругою 6—35 кВ.

Ключові слова: локаційний метод, визначення місця пошкодження, діагностичні ознаки пошкодження.

Вступ

Розподільні електричні мережі мають складну топологію — розгалужені з високим ступенем неоднорідності параметрів ділянок мережі [1, 2]. Пошук місця пошкодження є складною повсякденною роботою оперативного персоналу, що потребує додаткових матеріальних витрат та затрат часу. З погляду безпеки експлуатації повітряних ліній електропередач напругою 6—35 кВ тривале існування аварійних режимів, що супроводжуються виникненням поля розтікання струму, є недопустимим [3]. Тому виникає задача автоматизації процесу пошуку пошкоджень в повітряних розподільних мережах напругою 6—35 кВ. Застосування локаційного методу [4, 5] дозволяє вирішити цю задачу, але потребує адаптації до умов пошуку пошкодження в повітряних розподільних електричних мережах. Такі мережі секціонуються за допомогою роз'єднувачів, працюють в режимі з ізольованою або компенсованою нейтраллю, мають 5...12 відгалужень та неоднорідності параметрів мережі, що не враховують існуючі методи пошуку пошкоджень в повітряних розподільних електричних мережах. Із застосуванням локаційних методів рефлектограми мають складну форму, яка відображає неоднорідності параметрів магістралі і відгалужень [6—8]. Ці обставини ускладнюють процес розпізнавання рефлектограм та визначення місця пошкодження.

Метою роботи є підвищення спостережуваності під час розшифрування рефлектограм, отриманих в результаті застосування локаційного методу для зондування систем електропостачання з повітряними лініями електропередач та складною топологією напругою 6—35 кВ

Результати дослідження

Контроль роботоздатності повітряної ЛЕП зводиться до своєчасного виявлення пошкоджень. Основними видами пошкоджень систем електропостачання з повітряними лініями електропередачі можуть бути короткі замикання й обриви проводів. Будь-який вид пошкодження так само як і інші неоднорідності створюють на рефлектограмі додаткові відбиті імпульси. Кожна з неоднорідностей носить активний, індуктивний або ємнісний характер, тому важливо детально дослідити характер зміни форми відбитого імпульсу. З цією метою проводився аналіз попередніх досліджень [6—8] та нові експериментальні дослідження.

Результати дослідження показали, якщо $R_H < Z_{ХВ}$, де R_H , $Z_{ХВ}$ — відповідно, опір навантаження та хвильовий опір лінії при проходженні сигналом границі між більшим і меншим опором, відбитий імпульс змінює свою полярність на протилежну, якщо $R_H > Z_{ХВ}$, тобто у разі проходження сигналом границі між меншим і більшим опором, імпульс зберігає свою полярність. У цих випадках у лінії існує режим змішаних хвиль. Коли $R_H = Z_{ХВ}$, то відбиття в лінії відсутні, вся випромінювана потужність виділяється на опорі навантаження й у лінії створюється режим біжучих хвиль. Дослідження показали, у випадку $R_H \leq 0,5 Z_{ХВ}$ в лінії встановлюється режим, близький до короткого замикання, а за $R_H \geq 5 Z_{ХВ}$ виникає режим, близький до холостого ходу.

Для зменшення втрат електричної енергії необхідно узгодити опір навантаження з 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 відбиттів. При розпізнаванні рефлектограм особливу роль відіграє імпульс, відбитий від кінця лінії або від кінця відгалуження.

В реальних лініях електропередачі індуктивним навантаженням лінії є обмотка силових трансформаторів, тому досліджувався вплив значення індуктивного навантаження на форму відбитого імпульсу. За різних значень величини індуктивності відбитий імпульс, крім додатної частини, має явно виражену від'ємну частину, як при короткому замиканні, але зі збільшенням індуктивності поступово стає додатним і вже коли значення $L_H = 161,8$ мкГн — відбивається, як при холостому ході. Збільшення тривалості зондувального імпульсу до 0,5 мкс приводить до того, що за значення $L_H > 161,8$ мкГн імпульс, відбитий від індуктивності, має ще від'ємну частину. Отже, завдяки значній за значенням величини індуктивності обмоток трансформаторів розподільних мереж, імпульс рефлектометра відбивається від них без зміни полярності, але з амплітудою трохи меншою, ніж у випадку холостого ходу на місці приєднання обмотки. Зі збільшенням потужності трансформатора й зменшенням індуктивності його обмотки, амплітуда відбитого імпульсу зменшується. При розпізнаванні рефлектограм місця приєднання обмоток трансформаторів можна вважати приблизно аналогічними розімкнутому кінцю лінії (режим холостого ходу).

Якщо лінії на кінцях навантажені обмотками трансформаторів, які можуть бути вимкнені, тоді опір на кінцях ліній наближається до нескінченного значення. В разі накладання сигналу на неоднорідну лінію поряд з імпульсами, відбитими від кінців лінії та відгалужень, на рефлектограмі будуть присутні й імпульси, відбиті від неоднорідностей лінії.

Приєднання відгалуження до лінії може розглядатися не тільки як приєднання ємнісного навантаження, але і як приєднання відгалуження із хвильовим опором, що зменшує загальний хвильовий опір у місці приєднання, тому варто очікувати, що імпульс, відбитий від місця приєднання відгалуження, буде завжди від'ємним.

У місці приєднання відгалуження результуючий хвильовий опір зменшується вдвічі (паралельне з'єднання однакових опорів лінії і відгалуження). Для місця розгалуження коефіцієнти відбиття і заломлення можна визначити, як [5]

$$K_B = \frac{\frac{Z_{XB}}{2} - Z_{XB}}{\frac{Z_{XB}}{2} + Z_{XB}} = -\frac{1}{3}; \quad (1)$$

$$K_P = \frac{2 \cdot \frac{Z_{XB}}{2}}{\frac{Z_{XB}}{2} + Z_{XB}} = \frac{2}{3}. \quad (2)$$

Результати дослідження показали, що у місці відгалуження виникає від'ємний відбитий імпульс з амплітудою, рівною 1/3 падаючого, пройшовши далі, заломлений імпульс має позитивну полярність і становить приблизно 2/3 від падаючого. Отже, відгалуження вносять істотні зміни, а відбиті імпульси ускладнюють рефлектограму.

За результатами досліджень встановлені діагностичні ознаки неоднорідностей, необхідні для розшифрування рефлектограм електроліній з деревоподібною топологією і з реальними видами навантажень та неоднорідностей, що зустрічаються на лініях. На основі цих ознак на рефлектограмах ідентифікуються імпульси, відбиті від наявних у лінії неоднорідностей: місця коротких замикань і обривів, місця приєднання відгалужень, кінці ліній і відгалужень, обмотки під'єднаних трансформаторів, кабельні вставки, муфти тощо.

В роботі запропоновано для розшифрування рефлектограм користуватися методом візуального логічного аналізу. Метод візуального логічного аналізу потребує використання словника діагностичних ознак неоднорідності рефлектограми, знятої з діючої лінії в нормальному режимі роботи, та її розшифрування.

З метою обґрунтування доцільності застосування методу розшифрування рефлектограм для ліній з деревоподібною топологією, проводилися дослідження на макеті повітряної лінії, $Z_{XB} = 430$ Ом, результати дослідження показано на рис. 1. Вимірювання здійснювалися в точці А заступної схеми лінії (рис. 1а), використовується імпульс тривалістю (τ) 46 нс, що відповідає початковій роздільній здатності 14 м. Діапазон вимірювання рефлектометра (D) дорівнює 197 м, коефіцієнт укорочення

(к) становить 1,52.

Зазвичай на рефлектограмі аналізуються одноразово відбиті імпульси, що мають максимальну амплітуду, за якими ідентифікуються неоднорідності лінії. Імпульси з меншою амплітудою не розглядаються, оскільки вони є перевідбиттями через неправильне узгодження рефлектометра з лінією ($R_{\text{вих}} < Z_{\text{хв}}$).

На рис. 1б видно, що на початку системи координат в точці А вихідний зондувальний імпульс має позитивну полярність, далі на осі абсцис видно чотири відбитих імпульси з амплітудою більше 30 % від амплітуди зондувального імпульсу. Поруч з зондувальним імпульсом на осі, в точці Б знаходиться імпульс, що відбився від місця приєднання до основної лінії відгалуження БВ, цей імпульс пройшов у результаті відображення шлях АБА; другим на осі розташувався імпульс В, що відбився від кінця відгалуження БВ в точці В і пройшов шлях АБВБА; третім є імпульс Г, що відбився від кінця лінії Г і пройшов шлях АБГБА; четвертим розташувався імпульс ВГ, що має більшу ніж третій імпульс Г амплітуду. Велика амплітуда імпульсу в цьому випадку зумовлена тим, що четвертий імпульс є сумою двох відбитих імпульсів, що пройшли шляхи АБВВГБА і АБГВВБА, рівні між собою за відстанню. Через неоптимальне узгодження вихідного опору $R_{\text{вих}}$ приладу РЕЙС-105Р з хвильовим опором $Z_{\text{хв}}$ лінії на рефлектограмі видно кратні відбиття 2Б, 5Б, 6Б, (непарні), мають від'ємну полярність, тому, що $R_{\text{вих}} < Z_{\text{хв}}$.

Як згадувалося вище, в основних рівняннях, складених для шляхів проходження відбитих імпульсів, прямий шлях імпульсу до точки відбиття і шлях після відбиття збігаються за відстанню та відповідають конфігурації. На рис. 1б відображено стан лінії, коли на кінцях відгалуження і лінії створено режим холостого ходу. Відбитий від місця приєднання відгалуження в т. Б імпульс має протилежну полярність, при відбитті від розімкнутих (холостий хід) кінців в точках В і Г, що відповідає обриву, імпульс зберігає полярність. Це значення є похибкою методу. На рис. 1в показана рефлектограма лінії з коротким замиканням на кінці в точці Г. При цьому третій Г і четвертий ВГ імпульси, відбиті від кінця лінії в точці Г і, пройшовши відповідно шляхи АБГБА, а також АБВВГБА і АБГВВБА, мають від'ємну полярність. Коротке замикання в кінці лінії на імпульси Б та В, зумовлені відгалуженням БВ, не впливає.

На рис. 1г показана рефлектограма, коли на кінці лінії в т. Г є режим холостого ходу, а коротке замикання відбувається на кінці відгалуження в точці В. При цьому другий В і четвертий ВГ імпульси, що відбиваються від замкнутого кінця відгалуження, мають від'ємну полярність. Це відноситься до імпульсів, що пройшли шляхи АБВВБА, а також АБВВГБА і АБГВВБА. З рефлектограм рис. 1 видно, що імпульс, що відбився в місці приєднання відгалуження в т. Б, завжди менше за амплітудою імпульсу, що відбився від розімкнутого або замкнутого кінця відгалуження в т. В.

Для розшифрування рефлектограм використовуються додаткові співвідношення відстаней, які

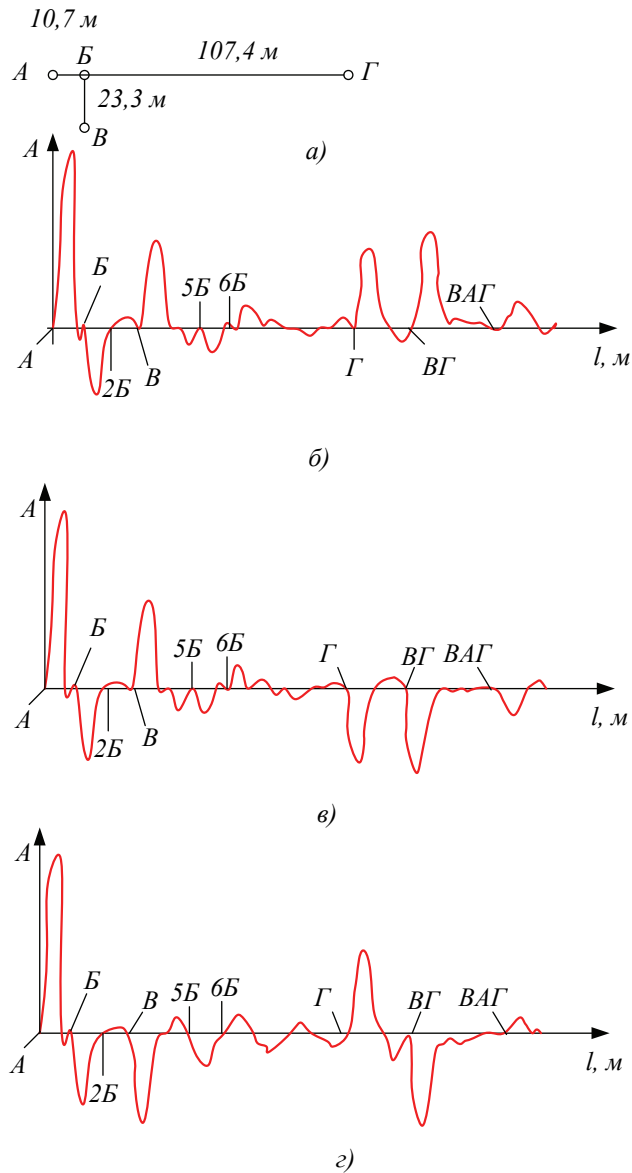


Рис. 1. Схема повітряної лінії з одним відгалуженням (а) і рефлектограм при холостому ході на відгалуженні і наприкінці лінії (б), при короткому замиканні на кінці лінії в точці Г (в), при короткому замиканні на кінці відгалуження в точці В (г)

відповідають шляхам проходження імпульсу за багаторазового відбиття від неоднорідностей. Додаткові співвідношення застосовуються як контрольні для перевірки достовірності визначення виду неоднорідності і відстані до його місця знаходження.

Значення сумарних шляхів проходження імпульсів визначаються на основі геометричних вимірювань довжин відрізків, які складають ділянки лінії (таблиця). Для порівняння поруч з цими цифровими значеннями наведені результати вимірювань за допомогою приладу РЕЙС-105Р. Знак мінус в описах шляху проходження імпульсу означає зміну його полярності в певній точці лінії.

Результат порівняння довжин ділянок лінії, виміряних геометрично і за допомогою приладу РЕЙС-105Р

Рисунок	Місце відбиття імпульсу	Шлях, що проходить імпульс	Геометрична довжина шляху, що проходить імпульс, м	Визначена довжина шляху, що проходить імпульс, м
1б	Б	А(-Б)	-10,7	-10,79
	В	АБВ	34,05	33,92
	Г	АБГ	118,15	117,2
1с	Б	А(-Б)	-10,7	-10,79
	В	АБВ	34,05	33,92
	Г	АБ(-Г)	-118,15	-117,2
1г	Б	А(-Б)	-10,7	-10,79
	В	АБ(-В)	-34,05	-33,92
	Г	АБГ	118,15	117,2

Порівняння на підставі розмірів ділянок лінії, виміряних геометрично і приладом РЕЙС-105Р, показує, що розбіжності не перевищують 1 %.

Висновки

1. Запропоновано метод візуального логічного аналізу рефлектограм, отриманих при зондуванні систем електропостачання з повітряними лініями електропередач та складною топологією напругою 6—35 кВ.

2. Під час розшифрування рефлектограм, отриманих при зондуванні систем електропостачання зі складною топологією та повітряними лініями електропередач локаційним методом, доцільно застосовувати метод візуального логічного аналізу для визначення пошкодження.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Андриевский В. Н. Эксплуатация воздушных линий электропередачи / В. Н. Андриевский, А. Т. Головань, А. С. Зеличенко. — Л. : Энергоатомиздат, Ленинградское отделение, 1989. — 208 с.
2. Электрические сети и системы / Н. В. Буслова, В. Н. Винославский, Г. И. Денисенко, В. С. Перхач. — К. : Выш. шк., 1986. — 594 с.
3. Прусс В. Л. Повышение надёжности электрических сетей / В. Л. Прусс, В. В. Тесленко. — Л. : Энергоатомиздат, Ленинградское отделение, 1989. — 208 с.
4. Кутіна М. В. Визначення місця пошкодження при обриві проводу повітряних розподільних мереж напругою 6—35 кВ / М. В. Кутіна // Проблеми і перспективи енергозбереження комунального господарства і промислових підприємств : матеріали наукового семінару. — Луцьк, 2009. — С. 93—97.
5. Шалыт Г. М. Определение мест повреждения воздушных и кабельных линий электропередачи / Г. М. Шалыт. // Сб. статей. — М. — Л. : Энергия, 1966. — С. 26—47.
6. Кутіна М. В. Діагностичні ознаки рефлектометрії повітряних розподільних мереж напругою 6—35 кВ / М. В. Кутіна // VI Всеукраїнська науково-технічна конференція молодих учених і спеціалістів : зб. наук. пр. — Кременчук, 2008. — С. 250—251.
7. Кутіна М. В. Застосування локаційних методів для визначення виду і місця ушкоджень в розподільних мережах напругою 6—10 кВ / М. В. Кутіна // V Всеукраїнська науково-технічна конференція молодих вчених і спеціалістів : тези наук. доп. — Кременчук, 2007. — С. 189.
8. 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 Остроградського. — 2009. — № 4 (57), Ч. 1. — С. 166—167.

Рекомендована кафедрою електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту

Стаття надійшла до редакції 20.01.2015

Кутіна Марина Василівна — канд. техн. наук, старший викладач кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, e-mail: mkytina@gmail.com.

Вінницький національний технічний університет, Вінниця

M. V. Kutina¹

Efficacy of locating method of determination of damages in power systems voltage 6—35 kV

¹Vinnytsia National Technical University

The method of logical analysis of visual decoding reflectography is obtained by probing of electricity with overhead power lines and complex topology of voltage 6—35 kV.

Keywords: locating method, fault location, diagnostic signs of damage.

Kutina Maryna V. — Cand. Sc. (Eng.), Senior Lecturer of the Chair of Electrical Power Consumption and Power Management, e-mail: mkytina@gmail.com

М. В. Кутіна¹

Эффективность применения локационного метода поиска повреждений в системах электроснабжения напряжением 6—35 кВ

¹Вінницький національний технічний університет

Предложен метод визуального логического анализа рефлектограм, полученных при зондировании систем электроснабжения с воздушными линиями электропередач и сложной топологией напряжением 6—35 кВ.

Ключевые слова: локационный метод, определение места повреждения, диагностические признаки повреждения.

Кутіна Марина Васильевна — канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры электротехнических систем электропотребления и энергетического менеджмента, e-mail: mkytina@gmail.com