

МЕТОДИ ПОШУКУ ПОШКОДЖЕНЬ КАБЕЛЬНИХ ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАВАННЯ

Самсонов Д.А., студент, Паненко О.М., асистент

КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра електричних мереж та систем

Вступ. Порушення нормального режиму роботи електроенергетичних систем, як правило, відбуваються через пошкодження її елементів, зокрема, ліній електропередачі. Пошкодження ліній призводить до порушення електропостачання, зниження якості і підвищення втрат електричної енергії. Для відновлення нормального режиму роботи електроенергетичних систем, скорочення збитків і витрат необхідно швидко і точно визначати місця пошкоджень. Слід також зауважити, що підвищення втрат електроенергії приводить до зростання витрат на транспортування електричної енергії. Дана проблема особливою мірою стосується кабельних ліній, так як вони широко використовуються у розподільчих мережах енергосистем, у містах та промислових підприємствах, це обумовлює необхідність їх своєчасного діагностування. Незважаючи на різноманіття та значну різницю ознак видів пошкоджень послідовність дій при визначенні місця пошкодження (ВМП) не дуже різниться. Методика складається з декількох послідовних операцій: визначення пошкодженого елемента, пропалювання ізоляції в місці пошкодження, дистанційне та (або) топографічне ВМП. Перші два етапи можна умовно назвати підготовчими. Визначення пошкодженого елемента виконується в більшості випадків автоматично при спрацюванні селективного релейного захисту. Необхідність пропалювання витікає з того що в більшості випадків при пробі КЛ перехідний опір у місці пошкодження ізоляції становить десятки МОм і більше, а більшість методів ВМП застосовуються при перехідному опорі ($R_{пер}$) не вище ніж 100 Ом, а інколи й навіть десятки Ом. Задача пропалювання – зменшення перехідного опору до рівня достатнього для застосування певного методу ВМП. Для ВМП використовують дистанційні і топографічні (трасові) методи, які дозволяють зафіксувати вид пошкодження і вказати відстань до нього.

Мета роботи: огляд найбільш поширених способів пошуку пошкоджень кабельних ліній електропередачі.

Матеріали дослідження. Перш за все, методи поділяються на дистанційні та топографічні. Дистанційні методи полягають у використанні приладів і пристроїв, що встановлюються на підстанціях і вказують відстань до пошкодження. Під топографічними методи розуміють визначення шуканого місця безпосередньо при русі по трасі, засоби топографічного пошуку місця пошкодження знаходяться в розпорядженні пошукової бригади. За іншою класифікацією методи поділяються на високочастотні і низькочастотні. Під низькочастотним діапазоном маються на увазі частоти від нуля до декількох кілогерц. Під високочастотним - десятки кілогерц [1].

Поділ методів на дистанційні і топографічні обумовлений відсутністю методів, що визначають місце пошкодження швидко (не довше декількох

годин) і водночас точно (декілька метрів). Дистанційні методи визначення місця пошкоджень дозволяють швидко вказати не місце пошкодження а зону його знаходження. Для точного визначення місця пошкоджень використовують повільні топографічні (трасові) методи за допомогою яких визначають місце пошкодження з точністю не менше 3 м. Практика показує доцільність сумісного використання цих методів: спочатку визначають зону пошкодження, а далі трасовим методом знаходять точне місце.

Дистанційне (відносне) визначення місця пошкодження (ВМП) полягає в вимірюванні відстані до місця пошкодження від кінця кабельної лінії (КЛ). Але усі дистанційні ВМП мають обмежену точність. Фактори, що впливають на неточність визначення відстані до місця пошкодження КЛ - це відстань до характерних точок траси КЛ (поворотів, з'єднувальних муфт і т.п.). Ці точки вказуються в планах документації в горизонтальній площині, але в дійсності КЛ змінює своє положення і по вертикалі, що не вказується в документах. Кабель вкладається в траншеї без натягу, так званою змієюю. Ступінь подовження за рахунок такої непрямої викладки врахувати точно неможливо. Наприклад, для КЛ довжиною 3000 м абсолютна похибка складатиме $\pm(30\div 60)$ м. Вимога точності ВМП може досягатися лише на дуже коротких лініях (до 100 м). До найбільш вживаних дистанційних методів можна віднести імпульсний метод та метод коливального розряду, обмежене використання мають мостовий метод та ємнісний. Топографічне (абсолютне) ВМП – це визначення топографічної точки розташування місця пошкодження. Точність топографічних методів КЛ не нижче ± 3 м. Всі топографічні методи відносяться до низькочастотних. Найбільш розповсюдженим з них є індукційний метод, який використовується на КЛ [2].

Індукційний метод. Для КЛ, прокладених в землі, індукційні методи дозволяють уточнити трасу лінії, встановити глибину залягання кабелю і місця розташування з'єднувальних муфт. Сутність індукційних методів полягає в індикації параметрів магнітного поля струмів, що протікають по проводах (жилах) і в землі вздовж траси лінії. Зміна параметрів магнітного поля поблизу місця пошкодження або в інших характерних точках траси фіксуються за допомогою спеціальних датчиків (індукційних рамок), підсилювачів і індикаторів при їх переміщенні вздовж траси ПЛ або КЛ.

Метод ґрунтується на тому, що пошукова бригада, рухаючись вздовж траси кабельної лінії, фіксує спеціальними приладами характер зміни магнітного та електричного поля, що створюється протікаючим по лінії струмом. Струм виробляється спеціальним генератором, що підключається на підстанції до вже вимкненої лінії. Щоб забезпечити таке значення опору, необхідно пропалювання дефектної ізоляції. Суть методу полягає в пропусканні по кабелю струму частотою від 480 до 10000 Гц і фіксації характеру зміни електромагнітного поля над кабелем через антену приймального пристрою. Зі збільшенням частоти сигнал в антені зростає непропорційно, внаслідок екрануючого впливу броні і оболонки кабелю. За допомогою індукційного методу можна визначити: місце пошкодження КЛ, місце розташування муфт на трасі, глибину залягання КЛ. Основними перевагами індукційного методу є

висока точність (до 0,5 м). До недоліків належать: необхідність пропалювання ізоляції в місці пошкодження КЛ, труднощі у визначенні однофазного замикання жили на оболонку в кабелях, неможливість визначення обриву [1, 2, 3].

Акустичні методи засновані на виявленні на трасі акустичних (механічних) коливань, що виникають на поверхні ґрунту, або асфальтобетонного покриття при іскровому розряді в ізоляції КЛ. Оператор з акустичним датчиком і підсилювачем рухається в зоні $\pm(15\div 40)$ м, виділений дистанційним методом, і визначає місце найбільшого рівня прийому по індикатору чи на слух за допомогою мобільного телефону. Іскровий розряд в місці пошкодження ізоляції утворюється за допомогою використання спеціальних пристроїв, які в свою чергу підключаються до кінця КЛ. До переваг акустичного методу слід віднести: можливість визначення місця пошкодження типу «обрив» або «запливаючий пробій», визначення місця пошкодження з перехідним опором більше 40 Ом без попереднього пропалювання. До недоліків методу належать: необхідність стійкого контакту акустичних датчиків з ґрунтом, складність застосування методу в пухких ґрунтах і під сніговим покривом, необхідність попереднього визначення траси кабельної лінії [2, 3].

Імпульсний метод (імпульсної рефлектометрії). Імпульсні методи засновані на вимірюванні часових інтервалів поширення електромагнітних хвиль по лініях. Для їх реалізації розроблені автоматичні і неавтоматичні вимірювальні пристрої. Автоматичні локаційні шукачі пошкоджень забезпечують визначення місця пробією ізоляції і обриву в будь-яких випадках. Неавтоматичні шукачі придатні лише при пошкодженні ізоляції з перехідним опором менше 1-2 кОм, або обрива проводів. Недоліком імпульсних методів ОМП є зниження їх ефективності при порушенні однорідності лінії внаслідок появи «паразитних» віддзеркалень імпульсів. Метод заснований на вимірюванні часу проходження електромагнітної хвилі t_x по лінії від місця вимірювання до місця пошкодження (відстань l_x) і назад, тобто хвиля проходить відстань $2l_x$. При відомій швидкості поширення електромагнітної

хвилі по кабелю V , вказаний час: $t_x = \frac{2l_x}{V}$, звідки $l_x = \frac{V}{2}t_x$. Метод реалізується

шляхом посилення в кабельну лінію імпульсів і виміру часу зсуву між посланими і відбитими імпульсами. Основною перевагою імпульсного методу є те, що він дозволяє досить точно визначити не тільки відстань до місця пошкодження, але й уточнити вид пошкодження. Також одночасно можна визначити відстань до декількох пошкоджень у кабелі. При використанні методу оператор повинен добре знати візуальний портрет кабельної лінії, так як в місцях неоднорідності кабелю (наприклад, в з'єднувальних муфтах) виникають відбиті імпульси. Метод ефективний, якщо перехідний опір в місці пошкодження ізоляції жили $R_{пер} < 200$ Ом, а також при обриві жил кабелю [3].

Метод коливального розряду (хвильовий) заснований на тому, що при пробіє кабелю виникає хвильовий процес у вигляді коливального розряду,

період T_x якого пов'язаний з відстанню до місця пробою l_x співвідношенням: $T_x = \frac{4l_x}{V}$. Середня швидкість поширення хвилі в кабелях з паперово-масляною ізоляцією 3-35 кВ становить $160 \cdot 10^3$ км/с = 160 м/мкс, що і дозволяє наближено визначати відстань l_x шляхом вимірювання T_x . Перевагою методу є його працездатність у всіх випадках пошкоджень кабелів. Метод може бути поєднаний з випробуванням кабелю випрямленою напругою [3].

Мостовий метод заснований на вимірюванні опору постійного струму на відрізках жил кабелю. Використовується в випадках, коли жила пошкодженої ізоляції не має розриву, і в КЛ наявна хоча б одна непошкоджена жила. Визначення місця пошкодження виконується на основі використання моста постійного струму. Чотири опори утворюють замкнутий чотирикутник; в одну діагональ підключають гальванометр, в іншу джерело живлення. Спочатку закорочують кінець КЛ і проводять підбір опорів на мосту до встановлення рівноваги, потім міняють місцями закоротку і міст і повторно проводять виміри. Маючи дані опорів, можна визначити місце пошкодження КЛ. Недоліком даного методу є те, що має бути відома точна довжина КЛ, перерізи і матеріали жил. Також, в центрах живлення важко поставити закоротки. Переваги мостового методу: можливість використання ВМП кабелю, які мають великий перехідний опір в місці пошкодження, незважаючи на довготривале пропалювання, і можливість ВМП КЛ, які мають складну картину неоднорідностей [2, 4].

Ємнісний метод використовується при обривах жил кабелю. Відстань до місця обриву визначається за значенням вимірної ємності жил ділянки КЛ. Виміри виконуються з використанням мостів змінного струму, на частоті 1 кГц. Ємнісний метод за точністю значно поступається імпульсному і повинен використовуватись лише при відсутності імпульсних приладів. Основним недоліком ємнісного методу є залежність ємності кабелю від його ізоляції [1, 2].

Висновки. В енергетиці ключовою задачею є надійність та безперебійність електропостачання. Зважаючи на важливу роль кабельних ліній електропередачі у енергопостачанні, та складність їх обслуговування, пріоритетною задачею є швидкий пошук місць пошкоджень КЛ. Представлені методи є актуальними в наш час, крім цього, ведуться дослідні роботи щодо оптимізації даної технічної задачі.

Перелік посилань

1. Е. А. Аржанников, А. М. Чухин. Методы и приборы определения места короткого замыкания на линии, 1998. – 74 с.
2. Шалыт Г. М. Определение мест повреждения в электрических сетях. – М.: Энергоиздат, 1982. – 312 с.
3. Хитров А. В. Монтаж, наладка і експлуатація електрообладнання. – Харків: ХНАМГ, 2009. – 328 с.
4. Дементьев В. С., Спиридонов В. К., Шалыт Г. М. Определение места повреждения силовых кабельных линий. – Москва-Ленинград: Госэнергоиздат, 1962. – 74 с.