

Надійшла до редакції
15.6.2013 р.

УДК 621.317

К.Л. ГОРЯЩЕНКО, О.В. ГОРБАЧ

Хмельницький національний університет

С.А. ГУЦАЛ

Ярмолинський РЕМ ПАТ "Хмельницькобленерго", м. Ярмолинці

**СУЧАСНІ МЕТОДИ ДІАГНОСТИЧНОГО ТЕСТУВАННЯ
СТАНУ ПРОВІДНИКОВИХ ЛІНІЙ ТА ПЕРСПЕКТИВИ
ЇХ ВПРОВАДЖЕННЯ У ПРАКТИЦІ**

Представлено характеристики сучасних методів діагностування провідникових ліній. Визначено найбільш використані в практиці методи. Встановлено, що з різноманіття сучасних методів, в практиці використовуються тільки окремі методи – імпульсна рефлектометрія, метод часткових розрядів та метод тангенса дельта.

Ключові слова: тестування, провідникова лінія, частковий розряд, тангенс дельта, імпульсна рефлектометрія.

K.L. HORIASHCHENKO, O.V. HORBACH

Khmelnyskyi natsionalnyi universytet

S.A. HUTSAL

Yarmolynetskyi REM PAT "Khmelnyskoblenerho", m. Yarmolyntsi

**TECHNIQUES OF DIAGNOSTIC TESTING OF LINE WIRES AND
OUTLOOK OF THEIR IMPLEMENTATION IN PRACTICE**

Presented characteristics of modern methods of diagnosing conductor lines. Determined the most used methods in practice. Established that from the variety of modern techniques used in practice only a few methods – time domain reflectometry, partial discharges and measuring of tangent delta.

Keywords: testing, wiring line partial discharge, tangent delta, pulse reflectometry.

Вступ. Існуючі провідникові лінії, що розміщено на території України, представляють складну інфраструктуру надання різних послуг різного рівня. Це надання телекомунікаційних послуг, як то радіо- та телемовлення, телефонний зв'язок, надання доступу до глобальних та локальних інформаційних мереж, забезпечення надання електричного живлення. Все це складає ряд інфраструктур, що взаємодіють між собою, або існують відокремлено. Цілком зрозуміло, що деякі типи інфраструктур працюють із застосуванням лише провідникових ліній, в той час як інші – не обмежуються і використовують також оптичні лінії та безпроводні технології.

Постановка проблеми. Найбільшу увагу в даному дослідженні приділено провідниковим лініям, що використовуються як для телекомунікаційних задач так і для забезпечення електроживлення. Більшість з існуючих інфраструктур закладені ще у середині 20-го століття, та навіть у більш ранні часи. Одночасно з розвитком технологій відбувався процес часткової модернізації та розширення мереж. Тому сучасна інфраструктура має у своєму складі таке різноманіття використаних матеріалів, що знаходяться у різному стані деградації. Причому використання матеріалів навіть одного типу не є гарантією визначення швидкості руйнування ліній, оскільки руйнування ізоляції матеріалів є функція часу, температури, зовнішнього середовища.

Існує цілий ряд технологій діагностування стану провідникових ліній [1], що знайшли своє застосування у техніці діагностування стану ліній. Існують методи, що мають лише академічне застосування і не використовуються в практичній роботі. Але використання кожного з цих методів обумовлено наявністю потрібного практичного обладнання, методик та

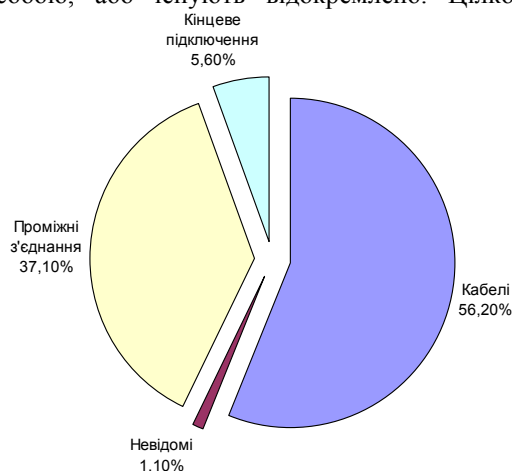


Рис. 1. Причини відмов в кабельних системах (США, 2010) [1]

інших умов. Як результат, це зменшує або унеможливує їх практичне застосування. На рис. 1 показано причини виникнення відмов в кабельних системах на прикладі енергетичної інфраструктури США (2010 рік).

Основна частина. Виявлення можливості використання кожного з методів діагностики базується на таких важливих та принципових елементах як:

- методологія суміщення або накладання отриманих результатів з фізичними пошкодженнями лінії;
- методологія визначення похибки вимірювання технології;
- економічний аспект застосування представленої діагностичної технології;
- наявність бази даних та бази знань, що використовуються для обраної технології.

Таким чином, використання діагностичних методів для діагностування провідникової лінії не підвищує надійність самої лінії, але дозволяє забезпечити зростання надійності за рахунок передчасного виявлення деградації. Методи не мають погіршувати стан лінії, оскільки це обумовлено потребою у використанні неруйнівних методів діагностування. Також слід розуміти, що умови використання діагностичних методик можуть ускладнювати та навіть унеможливлювати використання певних методів попри їх високу точність або достовірність за інших умов.

В чому полягає процес проведення діагностування провідникових (кабельних) систем? Зазвичай діагностування передбачає дві категорії дій [1]:

1) Перша категорія – глобальний аналіз. Полягає у визначенні стану провідникової лінії в цілому. Дає відповідь на питання в якому стані знаходиться лінія і чи потребує вона взагалі будь-яких детальних оцінювань. Перша категорія досліджень виконується достатньо широким загалом технік.

2) Друга категорія – локальний аналіз. Полягає у визначенні локальних параметрів кабельної лінії, виявленні кількісної та якісної оцінки стану кабельної системи. Також виконується достатньо широким набором технік.

Представлені категорії взаємопов'язані. В практиці діагностування присутні методи глобального діагностування, що не дають відповідь на питання про стан конкретного елемента кабельної системи. Тоді потрібно використовувати методи локального аналізу для деталізації стану. Але методи локального аналізу вказуючи на стан окремих ланок системи дають відповідь і на питання про стан системи в цілому.

Методи першої категорії ставлять на меті перевірку готовності до роботи або відповідності вже експлуатованої системи до подальшого використання. Дозволяють надати інтегральну інформацію про відсутність проблем в лінії, що пройшла стадію ремонту. Таким чином, отримана інформація є інформацією про поточний стан всієї кабельної системи без принципової можливості визначення часу експлуатації до ремонту.

Методи другої категорії зазвичай використовуються не тільки з метою діагностування поточного стану лінії. Суттєвою відмінністю є здатність використання отриманої інформації про стан кабельної системи для визначення динаміки старіння системи та визначення пошкоджень від зародження до критичного моменту руйнування системи.

В цьому розумінні, тестування кабельних систем є складним процесом, що охоплює використання однієї або декількох одночасно технологій діагностування. Тому і процес діагностування не є універсальним. В кожному випадку потрібно застосовувати власний підхід. А тому, результат діагностування не завжди відображає поточний стан системи.

Для оцінки стану підземних кабельних систем існує широкий спектр діагностичних методів тестування. Для багатьох з цих методів, існують також варіації на ту ж базову технологію. Щоб визначити правильну технологію для даного застосування, інженер повинен розглянути наступні питання:

1) Ефективність - Чи методика буде робити те, що призначено?

2) Зрілість – Чи метод запропонований та впроваджений досить давно, щоб забезпечити його ефективність? Велика частина переваг діагностичного тестування походить від порівняння з вимірюваннями за іншими схемами. Достовірне порівняння даних може бути недоступне для нових або для технології чи методів, що замінюють інші.

3) Точність - Як часто отриманий результат надає правильну оцінку?

4) Зрозумілість - Чи є методика відповіддю, яка легко дає зрозуміти чи є вона дієва?

Для тестування кабельної провідникової системи застосовують ряд сучасних методик оцінювання [1, 2, 4]:

1. Часова рефлектометрія (Time Domain Reflectometry, TDR).
2. Частковий розряд (Partial Discharge, PD) на робочих частотах 50 / 60 Гц, наднизьких частотах (VLF, до 0,02 Гц) та релаксуючих коливаннях.
3. $\text{tg } \delta$ ($\tan \delta$), аналіз діелектричної проникливості на різних частотах.
4. Напруга відновлення (Recovery Voltage).
5. Вимірювання струму втрат (DC Leakage Current).
6. Струми поляризації та деполізації.
7. Тестування на навантаження кабелю при наднизьких частотах, робочих частотах та постійному струмі (High Potential Testing, Hi-Pot).
8. Застосування комбінацій методів.

Багато з цих методів використовуються в діагностичних програмах, а інші до цих пір не прийняті в більшості розвинених країнах [3]. На рис. 2 показані результати опитування, проведеного в 2006 - 2008 роках дослідження з використання різноманітних методів діагностики у США. Як це видно з рисунка, ряд методів знаходяться в регулярному використанні, поки інші перевіряються або інколи використовуються.

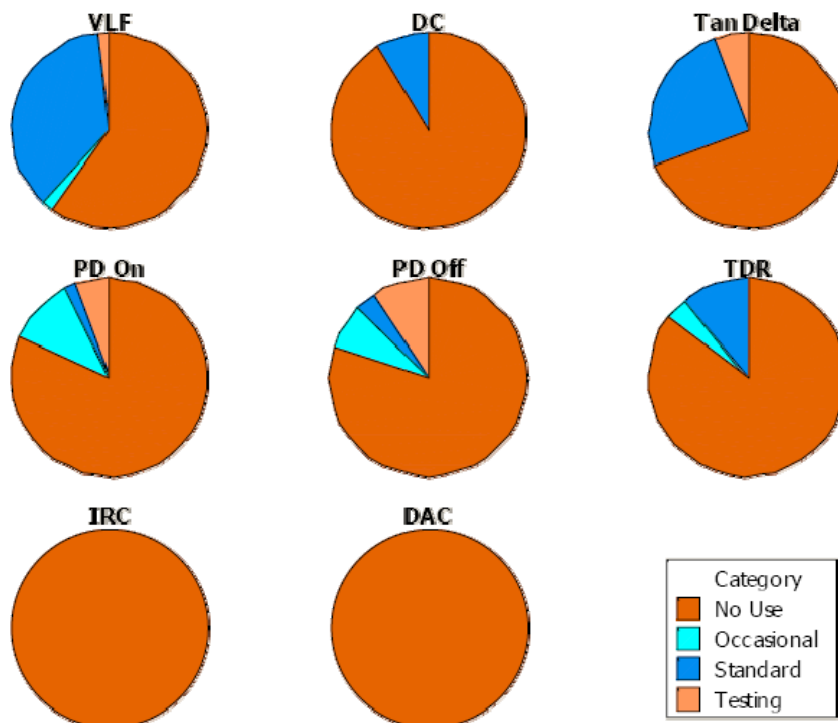


Рис. 2. Оцінка північноамериканських діагностичних методів використання кабельної системи: VLF (very low frequency) - дослідження на низькій частоті, DC - дослідження постійним струмом, Tan Delta - вимірювання $tg\delta$ кута діелектричних втрах, PD On та PD off – метод часткових розрядів, TDR - імпульсна рефлектометрія, IRC (Isothermal Relaxation Current) - вимірювання струму розряду, DAC (Damped AC) – вимірювання напруги розряду

З рисунку 2 видно, що використовуються тільки 5 методів, з яких тільки VLF, $tg\delta$ та TDR набули практичного застосування. Інші методи знаходяться на стадії дослідних. Це означає, що такі методи лише теоретично підтверджують своє застосування. Розглянемо більш детально ці методи:

Метод імпульсної рефлектометрії

Метод імпульсної рефлектометрії розглянуто у ряді робіт, наприклад [5]. Суть методу імпульсної рефлектометрії полягає у визначенні часу між зондуючим імпульсом та імпульсами, що утворюються при відбитті від неоднорідності, яка розташована у лінії. Визначаються параметри що змінюються під час вимірювання – час появи сигналу-відбиття та його амплітуда.

Ці зміни можуть бути викликані наступними факторами:

- відмовами ,
- з'єднанням (з'єднанням встик),
- відкритим з'єднанням,
- дотиком в схемі,
- погіршенням нейтралів,
- попаданням води в пошкоджену ізоляцію або в з'єднання,
- поганим з'єднання (високий опір).

В залежності від типу пошкодження, має місце зміна хвильового опору в кабельній лінії. А тому, ця інформація може бути використана для того щоб визначити місцезнаходження розривів, позначеними відбитими імпульсами. Крім того, форми відбитих імпульсів на інструментальному дисплеї допомагають оператору визначити природу розриву.

Проте, в роботі [6] показано процес утворення ряду перевідбиттів, що веде до появи на фоні дійсних відбиттів також і ряду "фантомних" відбиттів.

Проблемою імпульсного методу є нерівномірність розповсюдження сигналу в провідниковій лінії для різних частотних складових сигналу зондування. Це призводить до явища частотної дисперсії. Наслідком чого є збільшення часу зростання та спадання фронтів із одночасним зменшенням амплітуди самого сигналу. Таким чином, для досягнення точних результатів необхідно:

- формувати сигнали тривалістю у сотні або десятки ns ;
- забезпечити максимально короткі фронти імпульсів;
- точно визначити часовий проміжок між сформованим сигналом та отриманим відгуком з лінії;
- збільшення чутливості вимірювача внаслідок збільшення затухання у лінії при збільшенні

частоти сигналу.

Метод використовується при вимкненій лінії. Можливе використання під час роботи лінії. Як видно з цього, виконання цих вимог ускладнене для низькочастотної провідникової лінії.

Метод часткового розряду (PD)

При підвищенні напруженості електричного поля в окремих елементах ізоляції можуть відбуватися розряди (пробої), які не приводять до повного пробою електроізоляційної конструкції. Такі розряди получили назву часткових розрядів. Вони розвиваються головним образом в газових включеннях в діелектрику, але можуть знаходитись і рідких прошарках (в маслі).

Принцип застосування методу часткового розряду показано також у достатній кількості робіт, наприклад [7]. Велика кількість досліджень, що опубліковано за останні десять років показує причини та джерела часткового розряду в системах силових кабелів. Тим не менше, дослідження часткових розрядів в кабелях є емпіричні у зв'язку із складністю цього явища. Незважаючи на це, PD є потужним інструментом для загальної оцінки стану силових кабелів. Частковий розряд виявляє дефекти локалізовані, в основному у вигляді порожнеч в кабелі або ізоляції.

Порожнечі в цьому контексті можуть бути:

- квазі-сферичні (найчастіше через проблеми виробничого процесу);
- дендритні (часто через процеси старіння, що призводить до розвитку електричних дерев в результаті розширення напруги живлення);
- між фазні (через відшарування компонентів, або вільна посадка між кабелем і ізоляцією);
- нерегулярні (механічні пошкодження, до або після установки).

Метод часткових розрядів поширюється на всі типи кабелів, хоча її цінність може бути обмежена коли виконується на розрядно-стійких кабелях (як визначено в ICEA S-94-649 і S-97-682) або на паперовій ізоляції просоченою маслом, що також мають значну стійкість до часткових розрядів.

При наявності переваг, є неприйнятні недоліки. Так, цей метод фактично застосовується для визначення відстані до місця пошкодження при запливаючому пробой або при високому значенні перехідного опору в місці пробой. Фактично метод часткового розряду призначений для виміру відстані до місця першого виникнення електричної дуги в силовому кабелі.

Також, принциповою проблемою методу є частотні складові сигналів, що виникають в лінії. При розряді виникає дуга, що створює сигнали широкої смуги частот. Доступні інструменти для методу часткових розрядів класифікуються за пропускну здатністю, оскільки вони можуть мати смугу пропускання сотні кілогерц до 100 МГц. Також бажано провести процедуру калібрування вимірювальної системи.

На рис. 3 показані найбільш часто використовувані схеми заміщення для опису вимірювань за методом часткових розрядів. Ємностями (C) позначаються індекси A, B і C. C_a – представляє ємність елемента кабелю живлення, які не містять дефектів, C_b і C_c являють собою елементи кабелю, що містять порожнинні дефекти, де C_c є ємність порожнини і C_b представляє елемент залишок ємності кабелю. S_g є іскровий проміжок, який представляє розряжаючий дефект -порожнини.

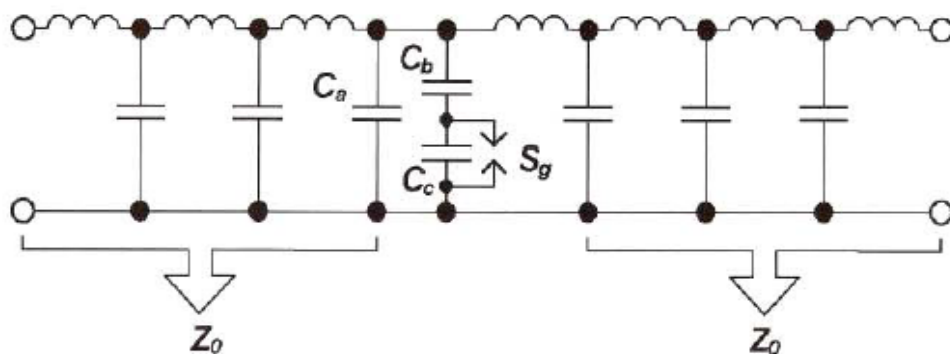


Рис. 3. Еквівалентна схема кабелю живлення при використанні методу часткових розрядів

Зверніть увагу, що ємність b і c , а отже і заряд, що згенерований в вимірювальній схемі, буде залежати від радіального положення порожнечі всередині кабелю. Тому що ємність залежить від відносної кількості ізоляції по обидві сторони від дефекту. Це одна з причин, чому PD-сигнали часто називають "очевидним зарядом", а не "справжнім зарядом".

Місце часткового розряду є місцем розряду в невеликій порожнині (процес іонізації газу, де спочатку, невелика кількість вільних електронів, прискорюються досить сильним електричним полем, яке призводить до електричної провідності через газ, шляхом лавинного множення). Напруга, при якій розряд ініціює описується законом Пашена, де критичний параметр є продуктом порожнечі розмірів [діаметр D] і внутрішній тиск $[p]$, β і χ є константами, пов'язані з газом в межах порожнини.

$$V_{PD} = \frac{\beta \cdot p \cdot d}{x + \ln(p \cdot d)} \quad (1)$$

Рівняння Пашена визначає ряд фундаментальних питань, у тому числі – розряди відбуваються тільки в розривах. Тестування за цим методом не може знайти пустоти які є забрудненні. Таким чином відбувається пропускання порожнин.

Порожнечі повинні задовольняти трьом таким умовам для виконання:

- вони не повинні бути повністю заповнені рідиною;
- якщо вони заповнені газом, то газ повинен бути за умов низького тиску або розряд напруги ініціювання може бути вище тестової напруги;
- вони повинні бути досить великими (невеликі порожнечі вимагають більш високих напруг ініціювання).

Як наслідок, для отримання достатньо коректного результату, потрібно, щоб:

- пустоти повинні бути в стані, що дозволяють їм розряджатися,
- сигнал часткового розряду повинен досягти детектора в неослабленому, не розсіяному стані, щоб бути розпізнаним як сигнали PD по відношенню до фоновому шуму,
- система виявлення PD повинна бути правильно відкалібрована, щоб оптимально встановити довжини і тип кабелю в стадії тестування.

Метод використовується при вимкненій лінії. Слід також вважати, що застосування високих напруг протягом тривалого періоду (циклів або часу) може призвести до пришвидшення деградації кабельної системи. Точна ступінь деградації буде залежати від рівня напруги, частоти і тривалості застосування даного методу діагностування. Таким чином, при проведенні вимірювань з підвищенням напруги потрібно враховувати те, що відмова може відбутися під час тесту.

Метод вимірювання $tg\delta$

Вимірювання $tg\delta$ дозволяє визначити ступінь реальної потужності, що розсіюється в діелектричному матеріалі [7].

Метод вимірювання $tg\delta$ є ефективним тестом, якщо відомі параметри кабелю і допоміжних компонентів. Це дозволяє виконати пряме порівняння між виміряними значеннями і:

- очікуваним значення для відомих матеріалів чи компонентів,
- попереднім виміром в тому ж ланцюзі, або
- базовим значенням.

Застосування змінної напруги та вимірювання різниці фаз між напругою сигналу і результуючим струмом сигналу забезпечує визначення значення $tg\delta$. Цей фазовий кут використовується для вимірювання повного значення струму (I), струму заряду (I_C) і струму втрат (I_R) на компонентах. $tg\delta$ є співвідношенням втрат струму до зарядки струмом, як показано в (4).

$$DF = \frac{I_R}{I_C} = \frac{\sqrt{I^2 - I_C^2}}{I_C} \quad (1.4)$$

Кут δ та взаємовідношення величин пояснюється на векторній діаграмі (рис. 4).

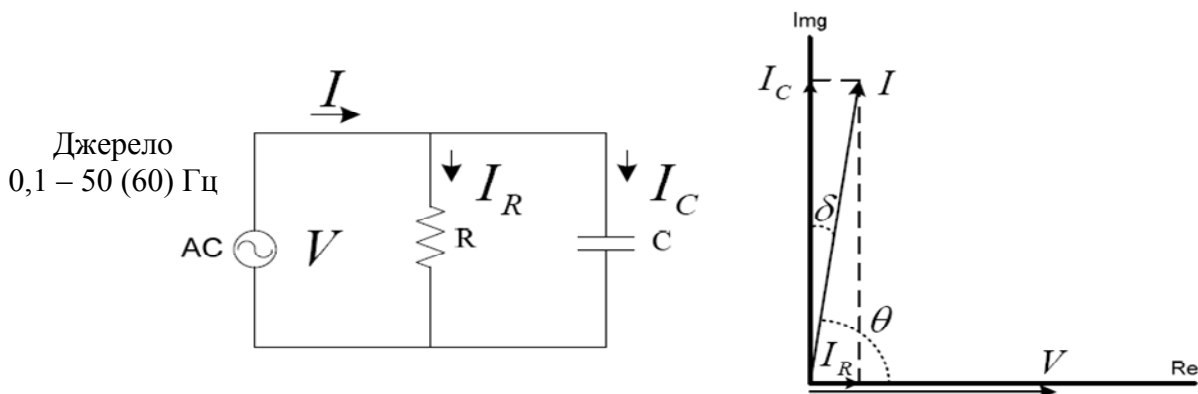


Рис. 4. Еквівалентна схема для вимірювання $\tan \delta$, і векторна діаграма

Кабельний сегмент під час тесту є відключений від мережі і живиться від окремого джерела живлення з фіксованою частотою змінного струму (наприклад, 50/60 Гц або інший низькочастотний сигнал). Для діагностування сегменту, як правило, використовується напруга від $0,5 U_0$ до $2 U_0$.

Перевагою методу є:

- результати тестів надаються в якості простих числових значень які можуть бути легко і швидко порівнянні з іншими вимірами або еталонними значеннями;

- періодичне тестування забезпечує числові дані, які можуть бути співставлені з майбутніми вимірюваннями для визначення тенденцій.
- три основні функції $tg\delta$ можуть бути оцінені в порядку їхньої важливості.
- забезпечує загальну оцінку стану.
- результат вимірювання на даному етапі можна порівняти з результатами сусідніх фаз, якщо фази мають однакову конфігурацію;
- може бути виконані з використанням різних джерел живлення змінного струму.
- застосовується як загальний індикатор на рівень водних дерев в кабелі;
- існує мінімальний вплив зовнішніх електричних полів і шумів.
- дані, отримані при напругах нижчих за робочі, як правило, є корисні ніж дані які, отримані при більш високих напругах;
- виміряні значення, що змінюються в залежності від тестової довжини сегмента можуть вказувати на проблеми, такі як нейтральна корозія;
- якщо виміряні значення змінні (нестійкі) під час тесту, це може означати, що має місце швидке руйнування.

Прості числові результати дозволяють швидко оцінку ризиків, до початку випробувань на більш високих рівнях напруги.

Недоліки методу [7, 8]:

- значення $tg\delta$ залежить від частоти тестування, а використання різних частот, відмінних від робочої, може дати хибні результати;
- залежність результату від якості форми сигналу зондування; вимагається формування максимально наближеної до синусоїдальної форми сигналу;
- в різних країнах використовуються результати тестування на різних частотах, що ускладнює процес оцінювання результатів;
- для діагностування потрібно виконувати ряд вимірювань значення $tg\delta$ в часі, для визначення тенденції руйнування та її швидкості;
- отримане значення $tg\delta$ є інтегральним показником стану всієї системи;

Принциповою проблемою є неможливість визначити розміри та характеристики відповідних пошкоджень. Для такої діагностики потрібно розділювати лінію на окремі сегменти та виконувати вимірювання індивідуально. Терміни періодичного діагностування можуть сягати десятків років. Метод використовується при вимкненій лінії.

Аналіз представлених методів на рис. 2 дозволяє, як наслідок, виділити дві принципові групи:

- а) Деструктивні методи діагностики, що пов'язані зі застосуванням напруг, що перевищують робочі напруги. Застосування таких методів веде до пришвидшення руйнування у дефектних місцях.
- б) Недеструктивні методи діагностики. Представляють собою дві сукупності методів: що використовують робочі напруги кабельних ліній та що використовують напруги, набагато менші за робочі напруги.

Висновок

Таким чином, діагностування провідникових ліній має ряд непереборних обмежень. Фактично, з найбільш розповсюджених методів, інформацію про кількість та відстані до пошкоджень дають два методи – імпульсна рефлектометрія та часткові розряди.

Але метод часткових розрядів не є зручним для високовольтних ліній середнього та високого значення робочих напруг, оскільки вимагає відповідного високовольтного обладнання для створення вихідних напруг вищих за робочу напругу мережі. Одночасно, цей метод є руйнівним. Застосування методу часткових розрядів може призвести до виходу лінії з ладу вже при діагностуванні.

Єдиний достатньо ефективний метод – імпульсна рефлектометрія, але і він не позбавлений суттєвих недоліків. Проблемою для цього методу є відносно низька смуга пропускання провідникової лінії, що складає до 1–10 МГц та явно виражена частотна дисперсія.

Тому, одним з перспективних методів є фазова дальнометрія. В роботі [9] зроблено попередній аналіз поведінки відбиттів при різних частотах зондування для багаточастотної фазової дальнометрії. Визначено, що має місце формування складного сигналу відбиття. Тому у подальшому пропонується дослідження принципів фазочастотного підходу діагностування провідникових ліній зв'язку.

Література

1. Overview of cable system diagnostic technologies and application : Cable Diagnostic Focus Initiative Project (CDFI) : 04-211/04-212/09-166 / The National Electric Energy Testing Research and Applications Center (NEETRAC); Hartlein, R., Hampton, N., Hernández, J.C., and Perkel, J. – Georgia, 2010. – 323 p.
2. Cable Testing Excerpt From Prysmian's WIRE AND CABLE ENGINEERING GUIDE. Prysmian Cables & Systems. Revision 0. October 23, 2007. - 8 p.
3. Some Considerations on the Selection of Optimum Location, Timing, and Technique, for Diagnostic Tests, RA Hartlein, RN Hampton, and J Perkel, IEEE Power Engineering Society (PES) General Meeting Panel Session, Pittsburg, PA, 2008.
4. Experience of Withstand Testing of Cable Systems in the USA, Hampton, R.N., Perkel, J., Hernandez, J.C., Begovic, M., Hans, J., Riley, R., Tyschenko, P., Doherty, F., Murray, G., Hong, L., Pearman, M.G., Fletcher, C.L., and Linte, G.C., CIGRE 2010, Paper No. B1-303
5. Глебович Г.В. Исследование объектов с помощью пикосекундных импульсов / Глебович Г.В., Андриянов А.В.,

Введенский Ю.В. и др.; Под ред. Г.В. Глебовича. – М.: Радио и связь, 1984. – 256 с., ил.

6. Горященко К.Л. Дослідження перевідбиттів гармонійних сигналів у провідникових лініях зв'язку для випадку двох пошкоджень / К.Л. Горященко, О.І. Полікарровських, В.С. Гавронський // Вісник Хмельницького національного університету. – 2008. – №2. – С. 138-141.

7. Determining Routes for the Analysis of Partial Discharge Signals Derived from the Field, Hernández-Mejía, J.C.; Perkel, J.; Harley, R.; Begovic, M.; Hampton, N., and Hartlein, R., IEEE Trans. on Dielectrics and Electrical Insulation, December 2008, pp. 1517-1525.

8. Characterization of Ageing for MV Power Cables Using Low Frequency Tan-delta Diagnostic Measurements, J.C. Hernandez-Mejia, R.G. Harley, R.N Hampton, R.A Hartlein, IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 16, Issue 3, pp. 862-870, June 2009.

9. Мазур І. Аналіз сумарного фазового сигналу відбиття на різних частотах методами спектрального аналізу / І. Мазур, К. Л. Горященко // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2009. - №2. – С. 36-40.

Надійшла до редакції
21.5.2013 р.

УДК 621.317

І.В. ГУЛА

Хмельницький національний університет

ВИЗНАЧЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ МЕТОДУ КОІНЦИДЕНЦІЇ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ФАЗОВИХ ЗСУВІВ СИГНАЛІВ

В результаті проведеного дослідження показано, що одним із перспективним багатозначальних методів, які можна використати для вимірювання фазових зсувів сигналів є метод коінцидентності.

Ключові слова: метод коінцидентності, ноніус, багатозначальний ноніус.

I.V. HULA

Khmelnytsky national university

DETERMINATION OF PROPERTIES METHOD FOR MEASURING COINCIDENTS PHASE SHIFT SIGNALS

As a result of the study shows that one of the promising bahatoshkalnyh methods that can be used to measure the phase shift signal is a method coincidents.

Keywords: *method coincidents, vernier.*

Мета роботи. Дослідити багатозначальні методи вимірювання фазових зсувів сигналів. Розглянути переваги та недоліки методу коінцидентності в порівнянні з іншими багатозначальними методами, а саме методом ноніуса та методом багатозначального ноніуса.

Вступ. Всім відомий лінійно-імпульсний метод вимірювання фазових зсувів сигналів. Суть якого полягає в знаходженні миттєвих значень зсуву фаз по проміжку часу між моментами проходження передніх або задніх фронтів синусоїд через нульове значення в межах одного періоду[1]. Даний метод використовується приблизно в 70% вимірювачів різниці фаз, що виготовляються в світі. Основним недоліком даного класу вимірювачів є низька точність вимірювання, для отримання великої розрізняювальної здатності необхідно сформувати опорний сигнал дуже високої частоти.

В наш час рядом вчених була розроблена ціла гама нових методів вимірювання фазових зсувів сигналів на основі співпадіння міток, тобто співпадіння імпульсів вхідного і опорного сигналів, такі методи отримали назву ноніусні методи вимірювань[2].

Ноніусні методи дозволяють отримати вищу швидкодію та точність визначення фазових зсувів сигналів не підвищуючи вимоги до швидкодії елементів схем, оскільки частоти опорного і вхідного сигналів дуже близькі між собою. Одним із різновидів ноніусних методів вимірювання фазових зсувів сигналів є метод коінцидентності. Давайте розглянемо його переваги та недоліки в порівнянні з іншими ноніусними методами вимірювання.

Основний розділ

Аналіз ноніусних методів вимірювання фазових зсувів сигналів

Термін "ноніусний метод" вперше отримав застосування, як метод вимірювання лінійних геометричних величин. Він оснований на порівнянні двох шкал, розміри поділок яких відрізняються на потрібну ступінь квантування (розмір оцінюваного розряду відліків).

З розвитком техніки ноніусний метод став широко використовуватись для визначення параметрів різних фізичних величин, він має два різновиди з однократною ноніусною інтерполяцією та з багатократною ноніусною інтерполяцією кожен з яких має свої переваги та недоліки.

В [2] показані різні варіанти пристроїв, які побудовані на основі методів однократного та багатократного ноніусу.

Основними перевагами методу однократного ноніусу є: простота апаратної реалізації; підвищення точності вимірювання без суттєвого підвищення вимог до швидкодії елементів схеми (зокрема, лічильників), оскільки періоди опорної і ноніусної послідовностей близькі між собою.