

2. Колинько Т. А. Измерения в цифровых системах связи / Т. А. Колинько. – К.: ВЕК, 2002. – 320 с.
3. Айфичер Э. С. Цифровая обработка сигналов: пер. с англ. / Э. С. Айфичер, Б. У. Джервис – М.: ИД «Вильямс», 2008. – 992 с.
4. Марпл-мл. С. Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения: пер. с англ. / С. Л. Марпл-мл. – М.: Мир, 1990. – 584 с.

Надійшла до редакції
19.5.2012 р.

УДК 612.315:623.611

К.Л. ГОРЯЩЕНКО

Хмельницький національний університет

ДІАГНОСТИКА ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ПРОВІДНИКОВИХ КАБЕЛЬНИХ ЛІНІЙ

Стаття присвячена дослідженню стану сучасних кабельних ліній зв'язку та силових ліній, що використовуються в народному господарстві. Показано сучасний стан проблеми діагностики провідникових кабельних ліній. Показано фактори, що впливають на надійність ліній.

Article is devoted to research of state of modern cable lines and power lines used in the economy. Is shown the current state of problem diagnosis conductor cable lines. Show the factors affecting the reliability of of lines.

Ключові слова: кабельна лінія, пошкодження, діагностика стану.

Вступ. Забезпечення високої надійності кабелів зв'язку та силових кабелів зростає з часом починаючи фактично від моменту виготовлення, прокладання безпосередньо у робочому місці і до моменту виявлення пошкодження. Діагностика технічного стану кабельних ліній є ключовим елементом в програмах управління терміном служби (старінням) кабелів на всіх етапах життєвого циклу.

Аналіз світових джерел показує, що однією з актуальних проблем сучасності є надання якісного та стабільного енергетичного постачання до клієнтів. Існує подальша тенденція до збільшення кількості провідникових ліній, що пов'язано зі зростанням кількості споживачів та їх енергетичних витрат. Фактично, забезпечення надання енергетичних та інформаційних послуг реалізується шляхом введення в експлуатацію нових ліній, а також використанням вже наявних відомчих кабельних ліній.

Нажаль, частина вже прокладених ліній знаходиться на межі морального та фізичного зносу. Так, наприклад, на території Puget Sound, Washington (Puget Sound Energy [1]¹) фіксується щомісячно від 12 до 20 крупних виходів з ладу кабельних ліній живлення, що зривають забезпечення електрозабезпечення одночасно на великій території [8].

Порушення електрозабезпечення призводять до колосальних втрат в промисловості - відсутність електроживлення на підприємстві електронної промисловості на декілька хвилин веде до простою протягом тижня. В результаті, тільки по США аварійне відключення електричної енергії в наслідок виходу з ладу кабельних ліній обходиться по різним оцінкам від \$104 до \$164 мільярдів дол. США [8].

Кабельні мережі відносяться до дороговартісних, відповідальних та з великим часом експлуатації елементів систем зв'язку та електрозабезпечення. Надійне функціонування кабельних ліній особливо важливе для користувачів I та II категорій електроспоживання та зв'язку.

Зростання надійності рівня експлуатаційної надійності кабельних ліній може бути досягнуто за рахунок підвищення рівня технологій виробництва, застосуванням нових ізоляційних матеріалів, нових підходів до конструкції кабелів (рис. 1).



Рис. 1. Різні типи кабелів [11]

¹ Засновано у 1873 році. Надає електричну енергію 1,1 млн користувачам. Площа обслуговування 16,000 км². Загальна довжина ліній складає понад 20920 км

Як видно з рисунку, конструкції кабелів представляють собою широке різноманіття внутрішньої будови. Зрозуміло, що неможливо створити ідеально надійну кабельну лінію, що не буде потребувати будь-яких засобів контролю за їх станом ні при виготовленні, ні при подальшій експлуатації.

Нажаль, провідникові лінії вимагають проведення періодичного контролю їх стану. Одночасно з цим відомі також організування та проведення різноманітних заходів організаційного рівня, що направлені на стабілізацію умов експлуатації та забезпеченню дотримання експлуатаційних характеристик під час їх експлуатації: створення захисних кабельних будівель (кабельна каналізація, траншеї, тунелі та канали, кабельні шахти та інше); підвищення рівня підготовки обслуговуючого персоналу; підвищення рівня технічної озброєності ремонтних служб, що займаються профілактикою, монтажем та ремонтом кабельних ліній.

Постановка питання. Таким чином, одним з актуальних питань сучасності є і залишається актуальною в подальшому забезпечення діагностики стану провідникових ліній, що забезпечують передачу електричної енергії низького, середнього та високого рівня напруги (LV, MV, HV). Одночасно з цим, задача діагностики якості провідникової лінії ставиться і до провідникових ліній зв'язку.

Теоретичні та практичні аспекти розв'язку задач в цій області розглянуто в роботах таких вчених як: Гроднев И.И., Андреев В.А., Шалит Г.М., Аксенов Ю.П., Лебедев Г.М., Ляпіна А.Г., Кадомска К.П., Качесов В.Е., Лавров Ю.А., Сахно В.В., Benjamin T.L., Chen C.S., Roemer L.E., Robinson S.R., Thorn D.C., Grumbach R.S., Backmann M., Pfeiler C., Wabmuth A. та інших [10-12].

Основна частина. На даний момент використовуються три базових методи обслуговування кабельних ліній: позапланове технічне обслуговування, планове технічне обслуговування, і обслуговування, що базується на аналізі стану самої лінії [9]. Застосування попередньої діагностики стану провідникової лінії дозволяє визначати поточні характеристики системи, а також прогнозувати подальшу зміну стану лінії. Доля діагностичного аналізу лінії у країнах Європи та Америки зросла за різними оцінками до 40% від загального обсягу методів обслуговування кабельних ліній [9].

Ефективність діагностики визначається рівнем знань механізмів старіння кабельних провідникових та ізоляційних матеріалів, чутливістю неруйнуючих методів контролю старіння і пошкодження електричної ізоляції по трасі; об'ємом і нормами випробування кабелів, інформаційною підтримкою контролю і прогнозування стану кабелів [3, 7].

Ізоляційний матеріал в кабелях старіє протягом всього терміну служби. Після старіння стан кабелю досягає певного критичного рівня, і тоді явища старіння можна спостерігати візуально ззовні. Це, наприклад, гарячі точки, часткові розряди, а також механічні тріщини.

За відсутності моделі старіння по вимірюваних параметрах діагностики прийнята класифікація технічного стану кабелів, представлена в таблиці 1.

Таблиця 1

Класифікація технічного стану кабелів і кабельних ліній в експлуатації [3]

Класифікація стану		Ступінь старіння ізоляції	Рекомендації персоналу при проведенні технічного обслуговування і ремонту (ТОіР)
Працездатне	норма	Старіння відсутнє	Експлуатація без обмежень, технічне обслуговування згідно нормативної документації
	з незначними відхиленнями	Низький ступінь старіння, її наявність фіксується окремими методами контролю	Експлуатація без обмежень, технічне обслуговування згідно нормативної документації
	із значними відхиленнями	Середній ступінь старіння, спостерігається тенденція до подальшої деградації ізоляції	Експлуатація з виконанням контролю ступеня старіння ізоляції неруйнуючими методами. Об'єм контролю стану визначає спеціалізована організація. До отримання рекомендацій спеціалізованої організації персонал вимірює опір ізоляції і контролює її стан по величині індексу поляризації і величині коефіцієнта абсорбції.
	погіршене	Сильне старіння, ресурс ізоляції обмежений	Планова заміна кабелю (ділянки кабелю) або планове визначення причин погіршеного стану різними методами (проведення позапланових випробувань підвищеною напругою, неруйнуючий або руйнуючий контроль) і усунення причин погіршеного стану.
Граничне		Граничний ступінь старіння або наявність локального дефекту	Виведення кабелю з експлуатації, ремонт кабелю або заміна кабелю

З таблиці 1 видно, що діагностика кабельних ліній проводиться періодично із застосуванням як неруйнуючих так і руйнуючих методів аналізу стану лінії.

Фактично, обслуговування кабельних ліній стоїть перед завданням використання існуючих кабельних мереж протягом їх часу експлуатації, використанням кабельних ліній понад їх експлуатаційний період, а також проведення заходів з виявлення та поступову заміну старих кабелів на більш сучасні. Проведення такого комплексу робіт, цілком зрозуміло, вимагає великого обсягу фінансових затрат та витрат часу.

Але проведення робіт з виявлення початкового руйнування провідників може проводитись роками, що дасть можливість прогнозувати деградацію стану лінії в часі. Тоді можна буде уникнути ще більших економічних втрат.

На рис. 2, 3 показано типові пошкодження, що мають місце в кабельних лініях, які й призводять до виходу з ладу кабелю. Серед пошкоджень можна виділити наступні:

- отвори в ізоляції зовнішньої оболонки кабелю;
- отвори в ізоляції внутрішньої оболонки кабелю;
- внутрішні пустоти;
- різноманітні вклучення;
- тріщини в оболонці та ізоляторі;
- водяні "дерева" – тріщини, заповнені водою, а також водяні "містки", що з'єднують поверхневі шари ізоляції з внутрішньою частиною кабелю;
- корозія оболонки;
- механічні руйнування внутрішніх провідників.

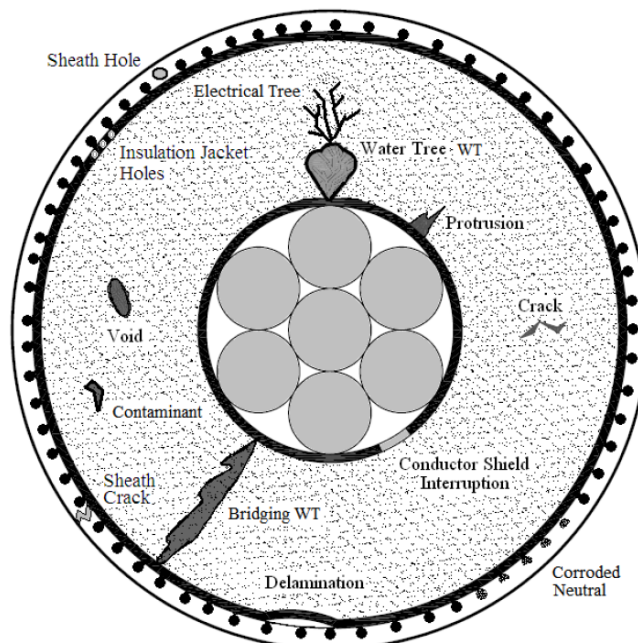


Рис. 2. Типові пошкодження кабелю [11]

На рис. 3. показано утворення нових пошкоджень кабелю в кабелях в процесі монтажу лінії.

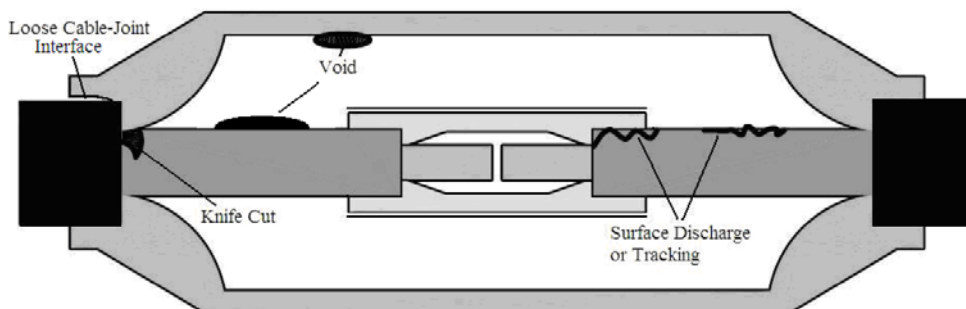


Рис. 3. Типові пошкодження, що є в кабелях з екструдованої ізоляцією [12]

Як **висновок**, можна вказати, що виявлення початкових пошкоджень лінії (рис.2), виявлення слідів цих пошкоджень дозволяє зменшити фінансові витрати на обслуговування провідникової лінії.

Здається, що цілком логічним було б запровадження мережі датчиків стану лінії, в тому числі датчики стану лінії, що знаходиться під напругою – резонансні датчики часткових розрядів (Resonance type partial discharge (REDI)), ультразвукові [13], ядерні магнітно резонансні датчики та інше. Але, через високі

ціни на пристрої контролю, немає поки можливості встановити в усіх місцях кабельних систем. Зазвичай, моніторинг проводиться лише на відповідальних об'єктах кабельної інфраструктури. Тому такий датчик має характеризуватись набагато більшою чутливістю та розрізнявальною спроможністю ніж датчики глобальної системи моніторингу та діагностики.

Література

1. Puget Sound Energy (PSE) // http://en.wikipedia.org/wiki/Puget_Sound_Energy
2. Кононенко А.И. Совершенствование диагностики силовых и контрольных кабелей АЭС. Создание компьютеризированного кабельного журнала / Кононенко А.И., Любимова М.П., Циканин А.Г., Немытов С.А., Самовичев В.Г., Титовец В.В. // <http://niipribov.ru/aes/publication-03.pdf>
3. Мониторинг условий эксплуатации кабелей и электрооборудования на АЭС / <http://niipribov.ru/aes/workbranch-03.html>
4. V.Colloca, A.Fara, M.d.Nigris, G.Rizzi, "Comparison among different diagnostic systems for medium voltage cable lines", paper 15-109, CIGRE 2001 Paris
5. G. Hoff, H.G. Kranz, "Correlation Between Return Voltage and Relaxation Current Measurements on XLPE Medium Voltage Cables", ISH, London, UK, paper 5.102. S14, 1999.
6. E. Gulski, J.J. Smit, P.N. Seitz, J.C. Smit, "PD measurements on-site using oscillating wave test system", IEEE, 1998 pp.420-423 vol.2
7. Petzold, F., Schlapp, H. ; Gulski, E. ; Seitz, P. ; Quak, B. Advanced solution for on-site diagnosis of distribution power cables / Dielectrics and Electrical Insulation, IEEE Transactions on / December 2008, Volume: 15 , Issue: 6, P. 1584 - 1589
8. Bing Jiang. Mobile monitoring of underground cable systems / A thesis ... for the degree of Master of Science in Electrical Engineering. - University of Washington, 2003. - 91 p.
9. W. Reder, and D. Flaten, "Reliability Centered Maintenance for Distribution Underground Systems," IEEE Power Engineering Society Summer Meeting, 1, 2000, pp. 551-556.
10. Гильманов Эдуард Ахнафович. Повышение эффективности эксплуатации кабельных линий передачи на основе их диагностики методом импульсной рефлектометрии / Эдуард Ахнафович Гильманов // автореф. ... к. т. н. по спец. 05.12.13, Уфа, 2009. – 20 с.
11. Jean Carlos Hernández Mejía. Characterization of real power cable defects by diagnostic measurements / Degree Doctor of Philosophy in the School of Electrical and Computer Engineering // Georgia Institute of Technology, December, 2008. – 292 p.
12. Hartlein, R., Hampton, N., Hernández, J.C., and Perkel, J. Overview of cable system diagnostic technologies and application / The National Electric Energy Testing Research and Applications Center (NEETRAC), Cable Diagnostic Focus Initiative Project (CDFI), No. 04-211 and 04-212, 2006
13. Harrold R. Partial Discharge - Part XVI. Ultrasonic Sensing of PD Within Large Capacitors // IEEE Electrical Insulation Magazine, vol. 9, no. 3, pp. 21-28, 1993.

Надійшла до редакції
10.5.2012 р.

УДК 621.376

В.М.КИЧАК, Н.О. ПУНЧЕНКО, О.Г.БОРТНИК

Вінницький національний технічний університет

МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ІМПУЛЬСНО-КODOVIХ МОДУЛЯТОРІВ НА БАЗІ ВЗАЄМНИХ СПЕКТРАЛЬНИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ

У роботі представлено метод визначення динамічних характеристик імпульсно-кодових модуляторів на базі взаємних спектральних перетворень. Доведено, що даний метод характеризується високою продуктивністю та адекватністю визначення динамічних характеристик у порівнянні зі спектральним методом на базі швидкого перетворення Фур'є.

The method of determination of the dynamic characteristics of pulse-code modulators based on mutual spectral transformations. It is proved that this method is characterized by high efficiency and adequacy determination of dynamic characteristics in comparison with a spectral method based on fast Fourier transform.

Ключові слова: імпульсно-кодовий модулятор, динамічна характеристика, взаємні спектральні перетворення.

Вступ

Підвищення ефективності радіотехнічних і телекомунікаційних засобів в сучасних умовах неможливе без використання в задачах перетворення неперервних сигналів імпульсно-кодових модуляторів (ІКМ). Ефективність оброблення широкосмугових сигналів безпосередньо залежить від