

ПРОБЛЕМИ ЗАСТОСУВАННЯ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ВИЯВЛЕННЯ СКЛАДОВИХ ВИХІДНОГО СИГНАЛУ ДЛЯ ФАЗОВИХ ВИМІРЮВАНЬ

Відомо, що фазові методи вимірювання відстаней є точним методом. Останнім часом розроблено теоретичні та практичні аспекти застосування фазових вимірювань для визначення декількох об'єктів одночасно. Проте існуючі методи та теоретичні обґрунтування застосування фазових методів вимірювання показують принципові проблеми їх практичної імплементації. Суттєвою проблемою є направленість представлених методів для визначення об'єктів, що мають еквівалентну "точкову" модель відбиття. Для об'єктів з складним відбиттям ці методи показують принципову недосконалість.

Ключові слова: пошкодження, кут зсуву фази.

K.L. HORIASHCHENKO, S.L. HORIASHCHENKO

Khmelnitsky national university, Ukraine

PROBLEMS OF DETECTION OF SIGNAL COMPONENTS IN EXISTING METHODS FOR OUTPUT SIGNAL OF THE PHASE MEASUREMENT

It is known that the phase distance measurement technique is an accurate method. Recently developed theoretical and practical aspects of phase measurements to determine the multiple objects simultaneously. However, existing methods and theoretical justification for the use of phase measurement methods show fundamental problems of their practical implementation. The essential problem is the orientation of the presented methods to determine the objects that have an equivalent "point" model of reflection. For objects with complex reflection of these methods show a fundamental imperfection.

Keywords: damage, phase angle.

Вступ

Фазові методи потенційно здатні виявити декілька об'єктів. Багаточастотний фазовий метод забезпечує високу розрізняльну спроможність для одного об'єкта. Але визначення кількох пошкоджень фазовим методом є складним. Проведені дослідження [3] показують можливість існування вирішення прямої задачі аналізу впливу параметрів об'єктів – дальності та коефіцієнту відбиття – на параметри сумарного гармонійного сигналу. Але, з точки зору вимірювання дальності та коефіцієнтів відбиття об'єктів, актуальною є саме обернена задача: за отриманими амплітудно-частотною або фазочастотною характеристиками відновити значення векторів сигналів відбиттів від об'єктів та розрахувати дальності та встановити коефіцієнти відбиття, що далі дають змогу встановити величину відбиття в дійсності, а отже й достовірно встановити тип пошкодження.

Отже задачею є пошук загальних підходів до вирішення оберненої задачі визначення дальності та коефіцієнтів відбиття об'єктів шляхом аналізу і математичних перетворень амплітудно-частотних та фазочастотних характеристик сумарного сигналу. Для вирішення поставленої задачі пропонується скористатись знайденими особливостями зміни частотних характеристик сигналів та розв'язанням рівнянь записаними на основі аналітичних залежностей отриманими в попередньому розділі.

Основна частина

Згідно робіт [2, 3, 4, 6] встановлена можливість вимірювати два і більше пошкоджень у лініях зв'язку за допомогою фазових вимірювань.

Вирішення зворотної задачі потребує пошуку методів розв'язання рівнянь виду:

$$s_{\text{відл}}(t) = a_1 \cos(\omega t + \varphi_1) + a_2 \cos(\omega t + \varphi_2). \quad (1)$$

Ітераційні фазочастотні методи вимірювання дальності об'єктів

В загальному випадку дані рівняння мають $2n$ невідомих, де n – кількість об'єктів вимірювання. Тому необхідно записати ще декілька рівнянь, кількість яких повинна дорівнювати кількості невідомих або більше них. При проведенні вимірювань ми не можемо забезпечити вимірювання амплітудно-частотної та фазочастотної характеристик у всіх точках частотного діапазону. Сучасні підходи до проведення вимірювань передбачають ступеневу зміну частоти шляхом перестройки синтезатора частоти. Тому при проведенні вимірювань можна отримати дискретні значення амплітуди та фазового зсуву сумарного сигналу. Із використанням отриманих значень можна записати системи рівнянь в тригонометричній або експоненційній формах [4, 3]:

$$\begin{cases} U_{\Sigma 1} \sin \varphi_{\Sigma 1} = U_1 \sin \varphi_1 + U_2 \sin \varphi_2 + \dots + U_n \sin \varphi_n, \\ U_{\Sigma 2} \sin \varphi_{\Sigma 2} = U_1 \sin 2\varphi_1 + U_2 \sin 2\varphi_2 + \dots + U_n \sin 2\varphi_n, \\ \dots \\ U_{\Sigma n} \sin \varphi_{\Sigma n} = U_1 \sin n\varphi_1 + U_2 \sin n\varphi_2 + \dots + U_n \sin n\varphi_n, \\ U_{\Sigma 1} \cos \varphi_{\Sigma 1} = U_1 \cos \varphi_1 + U_2 \cos \varphi_2 + \dots + U_n \cos \varphi_n, \\ U_{\Sigma 2} \cos \varphi_{\Sigma 2} = U_1 \cos 2\varphi_1 + U_2 \cos 2\varphi_2 + \dots + U_n \cos 2\varphi_n, \\ \dots \\ U_{\Sigma n} \cos \varphi_{\Sigma n} = U_1 \cos n\varphi_1 + U_2 \cos n\varphi_2 + \dots + U_n \cos n\varphi_n, \end{cases} \quad (2)$$

Розглядаючи дані системи рівнянь, видно що вони є нелінійними. Розв'язання нелінійних систем рівнянь в кожному окремому випадку необхідно шукати відповідно до системи і загальних підходів не існує.

Ітераційний метод розв'язку системи рівнянь (2) полягає у поступовому розв'язку із застосуванням представленого в роботах [2, 3, 4] за допомогою математичного апарату розв'язку систем рівнянь виду [4, 3] (для випадку 3-х об'єктів, кожний з яких має "точковий" характер відбиття):

$$\begin{cases} f_1(a_1, \varphi_1, \varphi_2) = a_1 \sin \varphi_1 + (a_{\Sigma 0} - a_1) \sin \varphi_2 - a_{\Sigma 1} \sin \varphi_{\Sigma 1} = 0; \\ f_2(a_1, \varphi_1, \varphi_2) = a_1 \sin 2\varphi_1 + (U_{\Sigma 0} - a_1) \sin 2\varphi_2 - a_{\Sigma 2} \sin \varphi_{\Sigma 2} = 0; \\ f_3(a_1, \varphi_1, \varphi_2) = a_1 \sin 3\varphi_1 + (U_{\Sigma 0} - a_1) \sin 3\varphi_2 - a_{\Sigma 3} \sin \varphi_{\Sigma 3} = 0. \end{cases}$$

Для розв'язку такої системи складається матриця Якобі [4, 2, 3]:

$$W = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial a_1} & \frac{\partial f_1}{\partial \varphi_1} & \frac{\partial f_1}{\partial \varphi_2} \\ \frac{\partial f_2}{\partial a_1} & \frac{\partial f_2}{\partial \varphi_1} & \frac{\partial f_2}{\partial \varphi_2} \\ \frac{\partial f_3}{\partial a_1} & \frac{\partial f_3}{\partial \varphi_1} & \frac{\partial f_3}{\partial \varphi_2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (\sin \varphi_1 - \sin \varphi_2) & a_1 \cos \varphi_1 & (a_{\Sigma 0} - a_1) \cos \varphi_2 \\ (\sin 2\varphi_1 - \sin 2\varphi_2) & 2a_1 \cos 2\varphi_1 & 2(a_{\Sigma 0} - a_1) \cos 2\varphi_2 \\ (\sin 3\varphi_1 - \sin 3\varphi_2) & 3a_1 \cos 3\varphi_1 & 3(a_{\Sigma 0} - a_1) \cos 3\varphi_2 \end{bmatrix}.$$

Та шукається визначник для даної матриці Якобі:

$$\det W = \det \left[\frac{\partial f}{\partial x} \right] \neq 0.$$

Запропонований у роботах [4, 2, 3] розв'язок можна використати тільки для ідеалізованого варіанту пошкодження лінії з наявними точковими пошкодженнями. В реальній лінії використання цього методу неможливе як з точки зору наявних пошкоджень, так і з боку необхідності ускладнення математичного апарату при наявності більшої кількості пошкоджень.

Метод послідовного наближення для фазового методу вимірювання дальності об'єктів

Іншим варіантом ітераційного методу є метод пошуку із використанням інформації щодо мінімумів та максимумів амплітуди суми відбитих сигналів. Так на Рис. 1 показано графік залежності амплітуди сум відбитих сигналів від частоти. Тому в роботах [4, 2, 3] показано можливість також використати ітераційний підхід в розв'язку системи (2).

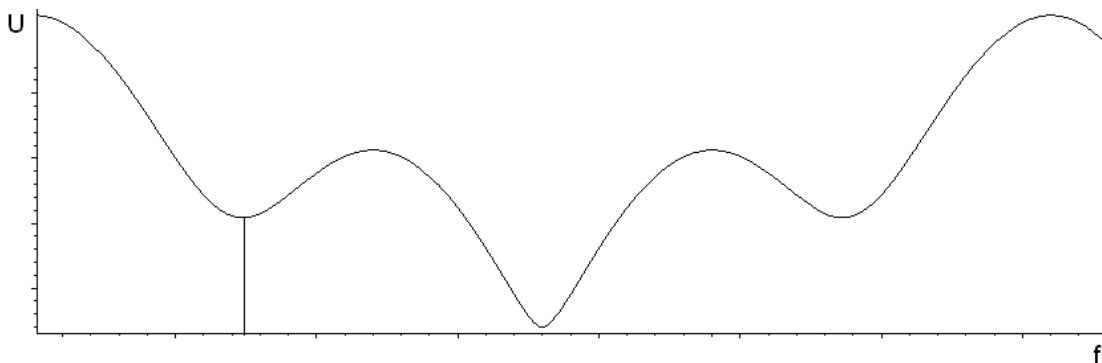


Рис. 1. Графік залежності амплітуди сум відбитих сигналів від частоти

Математична модель процесу вимірювання за методом послідовного наближення має вигляд [3]:

$$a_k = \frac{a_{\Sigma}}{2^N} \sum_{i=1}^N 2^{N-i} k_i,$$

де N – число розрядів регістру послідовного наближення;

a_{Σ} – максимальна вимірювана амплітуда сумарного сигналу на частоті $f=0$;

k_i – значення на виході амплітудного компаратора на i -у кроці врівноваження, приймає значення "0" або "1".

Аналіз математичної моделі методу послідовного наближення, показує, що з кожним кроком вимірювання точність підвищується у два рази. Алгоритм методу послідовного наближення для визначення амплітуди вектора третього відбитого сигналу полягає у наступному:

1. Вибирається напрямок додаткового компенсуючого вектору з вимоги його протифази вектору третього відбитого сигналу;

$$\varphi_k = \varphi_3 + 180^\circ.$$

2. Встановлюється амплітуда компенсуючого вектору, що дорівнює половині амплітуди сумарного вектору відбитих сигналів на частоті $f=0$;

$$a_k = a_{\Sigma} / 2.$$

3. Досліджується кривизна амплітудно-частотної характеристики сумарного відбитого сигналу з урахуванням компенсуючого вектора.

4. Якщо на характеристиці спостерігаються перепади, то вектор третього відбитого сигналу некомпенсований. При введенні компенсуючого вектору можливі наступні випадки:

- $\bar{a}_k = \bar{a}_3$ – повна компенсація вектору третього відбитого сигналу.
- $\bar{a}_k < \bar{a}_3$ – недокомпенсація вектору третього відбитого сигналу;
- $\bar{a}_k > \bar{a}_3$ – перекомпенсація вектору третього відбитого сигналу;

Таким чином, в методі послідовного наближення відбувається знову таки ітераційний процес визначення пошкоджень шляхом послідовної компенсації певної складової сигналу.

Проте і в цьому випадку, не дивлячись на значне спрощення методу розв'язання оберненої задачі, існують принципові проблеми:

1. На практиці похибка вимірювання кута зсуву фази досягає $0,01^\circ$ ($2,7 \times 10^{-5}$), похибка вимірювання амплітуди – $\pm 1/2^{16}$ ($1,5 \times 10^{-5}$) для цифрових вимірювальних пристроїв. Отже сумарна похибка визначення амплітуди, згідно з виразом (1), як функції виду $a_2 \cos(\omega t + \varphi_2)$ буде складати не менше $4,2 \times 10^{-5}$.

2. Оскільки згідно з виразом (1) має місце залежність виду $a_2 \cos(\omega t + \varphi_2)$, то на кінцеву точність визначення амплітуди вектору, буде також впливати швидкість приросту функції \cos при зміні $(\omega t + \varphi_2)$. При значеннях $(\omega t + \varphi_2) \rightarrow \frac{\pi}{2}$ ($\cos(\omega t + \varphi_2) \rightarrow 0$), потрібна точність визначення амплітуди зростає багатократно, а тому оцінка адекватності компенсації в цих точках є ускладненою.

3. Існування двох пошкоджень або групи пошкоджень, що розміщуються досить близько один від одного ускладнюють процес компенсації через складність їх розрізнення.

Висновок

Представлені методи – методи визначення елементів матриці із застосуванням визначника матриці Якобі та метод компенсації є ітераційними методами. Вони володіють принциповими та ідентичними проблемами:

1) наявність кількох розміщених рядом пошкоджень призводять до складності виявлення цього пошкодження та розділення його на дійсні складові.

2) похибка на старшому кроці призведе до виникнення похибки на всіх наступних кроках.

Тому ці методи є, не дивлячись на їхню теоретичну простоту є складними в обчислювальній реалізації, а їх застосування може видати хибний результат в результаті ітерацій.

Натомість, в роботі [7] показана теоретична можливість визначення спектральних складових у сумарному сигналі для багато шкального фазового методу аналізу стану лінії зв'язку.

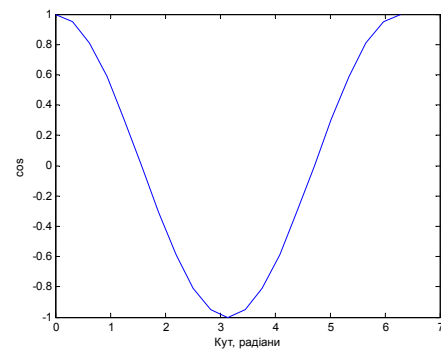


Рис. 2. Графік функції \cos

Література

1. Гула І.В. Multicoincidence method for phase measuring devices with high accuracy / I.V Gula, K. L. Horiashchenko, O.P. Vojtyuk / European applied sciences. – 2013. – №12. – С. 81-84.
2. Любчик В.Р. Вимірювання відстаней в радіолокації до трьох об'єктів / В.Р. Любчик, О.І. Гнатюк // Вісник Хмельницького національного університету. – 2005. – №4. – Ч.1. – Т.1. – С. 239-242.
3. Любчик В.Р. Вимірювання відстаней до трьох об'єктів / В.Р. Любчик, О.І. Гнатюк // – Вісник Технологічного університету Поділля. – №2. – 2005. – С.183-188
4. Любчик В.Р. Розробка фазового методу вимірювання відстаней до двох об'єктів // Вісник технологічного університету Поділля. – 2004. – № 2. – С. 108-114.
5. Маевский С.М. Прецизионное измерение электрической длины кабельной линии связи. Фазовые методы измерений в радиотехнике / С.М. Маевский, Е.К. Батуревич, В.Г. Баженов // Тр. РИ АН СССР, 1977. – №27. – С. 110-114
6. Маевский С.М. Применение методов фазометрии для прецизионного измерения расстояний / С.М. Маевский, В.Г. Баженов, Е.К. Батуревич, Ю.В. Куц. – К.: Вища школа. Изд-во при Киев. ун-те, 1983. – 84 с.
7. Горященко К. Л. Аналіз спектральних складових сумарного сигналу для багатошкального фазового методу аналізу стану лінії зв'язку. Повідомлення 1 / К. Л. Горященко // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2007. – № 6, Т. 1. – С. 115-120.

Рецензія/Peer review : 3.11.2015 р.

Надрукована/Printed :6.12.2015 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Троцишин І.В.

УДК 535.5

О.М. СТАЩУК, Д.М. СТЕПАНОВ, Д.Г. БАГАЧУК

Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова

ВПЛИВ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ СКЛА ОПТИЧНОГО ВОЛОКНА НА МАТЕРІАЛЬНУ ДИСПЕРСІЮ СИГНАЛУ

Проведено аналіз залежностей питомої матеріальної дисперсії сигналу від довжини робочої хвилі сигналу для ступеневих оптичних волокон різних за хімічним складом серцевини та оболонки. Встановлено вплив легуючих домішок на значення питомої матеріальної дисперсії сигналу.

Ключові слова: оптичне волокно, матеріальна дисперсія, хроматична дисперсія.

O. M. STASHCHUK, D. M. STEPANOV, D. G. BAGACHUK

Odessa A. S. Popov National Academy of Telecommunications

THE INFLUENCE OF THE CHEMICAL COMPOSITION OF GLASS OF OPTIC FIBER ON THE MATERIAL DISPERSION OF THE SIGNAL

An analysis of the material dispersion dependences on the wavelength of the signal for stepped optical fibers with different chemical compositions of the core and cladding. The influence of dopants on the value of the material dispersion of the signal has been determined.

Key words: optical fiber, material dispersion, chromatic dispersion.

Постановка задачі

Хроматична дисперсія сигналу є одним із основних параметрів передавання волоконно-оптичних систем передавання (ВОСП), що вносить обмеження на швидкість передавання інформації та на довжину регенераційної ділянки. Матеріальна дисперсія (МД) є однією з основних складових хроматичної дисперсії. Причиною виникнення МД є залежність показника заломлення матеріалу скла оптичного волокна (ОВ) від довжини робочої хвилі сигналу, що передається. Для отримання оптичних характеристик ОВ, що задовольняють міжнародним стандартам, та забезпечення явища повного внутрішнього відбиття (каналізації світла в межах серцевини ОВ) необхідно, в першу чергу, досягти необхідних значень показника заломлення серцевини n_1 та показника заломлення оболонки n_2 ОВ. Цього досягають шляхом внесення до хімічного складу серцевини та оболонки ОВ легуючих домішок в процесі виготовлення ОВ. Однак, наявність легуючих домішок в хімічному складі ОВ та їх концентрація суттєво впливає на значення МД сигналу в ОВ. Необхідно встановити характер впливу на МД для кожного типу домішок та визначити оптимальні хімічні складу ОВ.

Аналіз досліджень та публікацій

Дослідженню питомої МД присвячено низку наукових праць. В роботах [1, 2] отримано методику розрахунку питомої МД та встановлено спектральну залежність даного параметра. В роботі [3] представлено фізику процесів при впливі МД на форму оптичного інформаційного імпульсу. В роботі [4] представлено фізичну суть та наведено методику розрахунку довжини хвилі нульової дисперсії. Однак, в перерахованих