

1. Радиотехнические системы / Ю.П. Гришин, В.П. Ипатов, Ю.М. Казаринов, Ю.А. Коломенский. – М.: Высш. шк., 1990. – 496 с.
2. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы: Учебник. – М.: Высш. школа., 1983. – 536 с.
3. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы: Учебник для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1986. – 512 с.
4. Передающие устройства СВЧ: Учебное пособие для радиотехнических спец. вузов / Вамберский М.В., Казанцев В.И., Шелухин С.А.; под ред. М.В. Вамберского. – М.: Высш. шк., 1984. – 448 с.

Надійшла 11.2.2010 р.

УДК 621.396.4

І.В. ГУЛА, І.С. ПЯТІН

Хмельницький національний університет

І.С. КАТЕРИНЧУК

Національна академія державної прикордонної служби України, м. Хмельницький

БАГАТОТОНАЛЬНІ МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ ЧАСТОТНИХ ХАРАКТЕРИСТИК АБОНЕНТСЬКИХ ЛІНІЙ ЗВ'ЯЗКУ

Дана загальна характеристика методів вимірювання та контролю частотних характеристик лінійних чотириполюсників. Обґрунтована актуальність використання методів і засобів, що використовуються для вимірювання частотних характеристик абонентських ліній зв'язку. Показана перевага полігармонічних методів вимірювання частотних характеристик над одночастотними. Визначено вимоги до вимірювального сигналу для пониження динамічних похибок.

This general description of the methods of measurement and control of linear frequency response Two-port. The urgency of methods and tools used to measure the frequency of subscriber lines. The advantage poliharmonichnyh methods of measuring frequency response of one-over. Defined requirements for measuring signal in order to reduce dynamic errors.

Ключові слова: пік-фактор, абонентська лінія зв'язку, багаточастотні сигнали, спектральні властивості.

Вступ

Сучасний стан науки та техніки вимагає передачі значних об'ємів інформації. Це можуть бути мовні або цифрові повідомлення. Для передачі повідомлень розроблена значна кількість апаратури зв'язку: від простих телефонних апаратів до складних систем ущільнення каналів зв'язку. Передача даних та повідомлень без спотворень вимагає від зв'язкової апаратури дотримання певних технічних характеристик, таких як амплітудно-частотна характеристика, фазо-частотна характеристика, груповий час затримки. При недотриманні їх заданим параметрам стає неможливим забезпечити необхідні характеристики передачі інформації, такі як швидкість передачі, достовірність, пропускну спроможність каналу зв'язку та інші. В вимірювальній апаратурі використовують три основних методи оцінювання параметрів АЛЗ: метод вимірювання АЧХ/ФЧХ/ГЧЗ (тонального тестування), метод вимірювання імпедансно-частотних характеристик (ІЧХ) ЛЗ і метод аналізу рефлектограми ЛЗ. Слід відзначити, що методами аналізу ІЧХ та рефлектометрії неможливо оцінити всі параметри ЛЗ. Тому ці методи є доповненням до методу аналізу АЧХ/ФЧХ/ГЧЗ. При вимірюванні АЧХ виникає також задача одночасної оцінки інших частотних характеристик – фазочастотної характеристики (ФЧХ) та характеристики групового часу затримки (ГЧЗ).

Огляд існуючих методів

На сучасному етапі розвитку вимірювальної техніки можна виділити два підходи до вимірювань частотних характеристик (ЧХ).

1. Застосування моногармонічних вимірювальних сигналів.
2. Застосування багаточастотних зондуючих сигналів.

Існує багато методів реалізації першого підходу до вимірювання частотних характеристик лінійних чотириполюсників. Найпростішим є використання генератора сигналів, частота якого перестроюється, та двох вольтметрів або ватметрів, зібраних у схему, наведену на рис. 1.

Вимірювання проводять наступним чином. На вхід чотириполюсника подають синусоїдальний сигнал з генератора 1, частота якого відома. Проводять вимірювання амплітуди сигналу на вході пристрою та на його виході за допомогою вольтметрів 3 та 4. Далі розраховують коефіцієнт передачі за формулою

$$K_E = \frac{E_2}{E_1}$$

вимірювання. Після закінчення вимірювань та розрахунків криву АЧХ будують на аркуші паперу.

Цей спосіб є найбільш громіздким в часі, крім того можуть бути пропущені різкі зміни АЧХ в проміжках між точками вимірювань. Проте за допомогою цього способу можна досягнути точності, що дозволяють вимірювальні прилади, які застосовуються. Моногармонічний метод погано пристосований до контролю форми АЧХ при оперативних регулюваннях. В одночастотному методі додатково, за допомогою фазометра, можна виміряти також і ФЧХ. Характеристику групового часу затримки, яка математично є похідною від ФЧХ, можна оцінити, виконуючи вимірювання різниці фаз між близькими частотами і враховуючи можливі переходи фази через період. Але через складність такий метод вимірювання ГЧЗ практично не використовують.

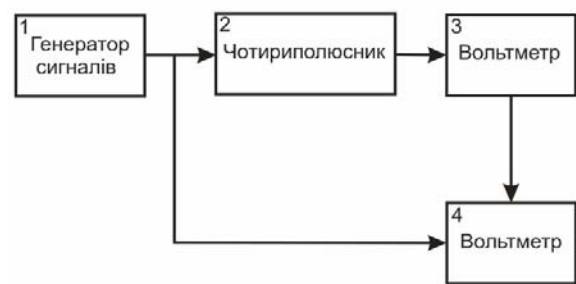


Рис. 1. Схема вимірювання АЧХ лінійного чотириполюсника за допомогою генератора частот та двох вольтметрів

Метод тонального тестування представлено на рис. 2. Для проведення тестування необхідно два аналізатора параметрів ЛЗ (АПЛЗ). Аналізатори встановлюються з двох кінців контрольованої ЛЗ (КЛЗ). Потім виконується серія вимірювань з метою знаходження АЧХ та вторинних параметрів КЛЗ. Описаний метод має недолік, пов'язаний з необхідністю використання двох АПЛЗ з повним набором функціональних вузлів [1].

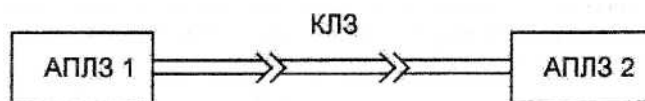


Рис. 2. Схема методу тонального тестування з використанням двох АПЛЗ

З метою оптимізації даного методу та усунення вищевказаного недоліку в схемі вимірювань використовують віддалені респондери (рис. 3). – прилади, що мають неповні можливості аналізаторів.

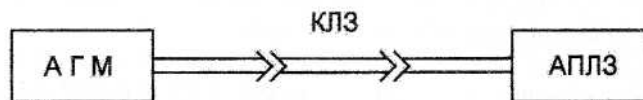


Рис. 3. Схема методу тонального тестування з використанням АПЛЗ та віддаленого респондера

Широко використовуються панорамні вимірювачі ЧХ, що побудовані на основі свіп-генератора та вузла відображення інформації (ВВІ). Спрощена структурна схема панорамного вимірювача АЧХ наведена на рис. 4.

Основою приладу є свіп-генератор, що виробляє високочастотну напругу з постійною амплітудою і частотою, що періодично змінюється за лінійним законом [6]. Закон зміни частоти визначається формою вихідної напруги генератора розгортки. Огинаюча напруги на виході кола, що досліджується, повторює форму АЧХ (перемикач S у положенні 1). Якщо перемикач S знаходиться у положенні 2, то вихідна напруга досліджуваного кола детектується, підсилюється підсилювачем низької частоти (ПНЧ) і подається на вхід ВВІ.

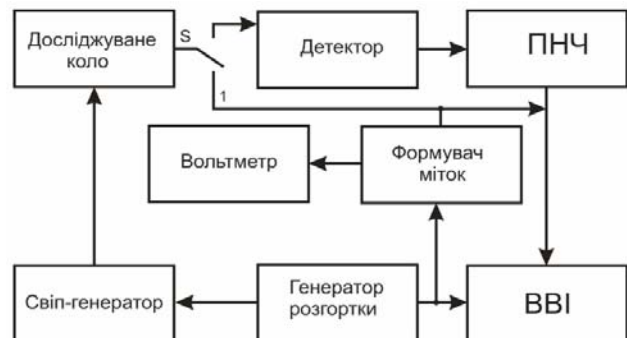


Рис. 4. Спрощена схема панорамного вимірювача АЧХ

На екрані ВВІ з'являється зображення АЧХ досліджуваного кола. Мітки формуються в низькочастотному колі генератора розгортки, а у відповідність до напруги, що вимірюється вольтметром, ставиться їх частота. Внаслідок нестабільності свіп-генератора частота міток визначається зі значною похибкою. Сучасний вимірювач ЧХ має ряд додаткових вузлів, що підвищують точність вимірювання та покращують експлуатаційні властивості приладу.

Найбільш поширеним методом панорамного вимірювання частотних характеристик лінійних чотириполюсників є метод із застосуванням лінійно-частотомодульованого сигналу (ЛЧМ-сигналу). Він полягає у тому, що на вхід пристрою подається частотомодульований сигнал із лінійним законом модуляції. Спектр такого сигналу за формою подібний до прямокутного, причому, частота сигналу змінюється від ω_H до ω_B . Отже, якщо вимірювати вихідний сигнал чотириполюсника, що досліджується, і подавати результат вимірювання на вхід вертикального відхилення електронно-променевої трубки, а на вхід горизонтального відхилення подавати сигнал, пропорційний закону модуляції тестового сигналу, тоді на екрані отримаємо графік амплітудно-частотної характеристики чотириполюсника [5].

Недоліком цього методу є те, що при малих значеннях часу сканування діапазону частот спектру сигналу має велику нерівномірність. Таким чином, для того, щоб провести вимірювання АЧХ з

прийнятними показниками точності по амплітуді, необхідно проводити вимірювання на досить великому проміжку часу. Другим недоліком є те, що при вимірюванні пристроїв з інерційними елементами, малий час сканування частотного діапазону призводить до появи динамічних похибок. При цьому істотну роль грає час перебування частоти ЛЧМ-сигналу в смузі пропускання кола, що досліджується. Якщо цей час співвідноситься або менше її постійної часу, перехідні процеси спотворюють форму обвідної напруги на виході кола, внаслідок чого зображення на екрані приладу може значно відрізнятися від статичної АЧХ.

Як уже відзначалось, однією з основних проблем є наявність динамічних похибок, що суттєво впливають на точність і швидкість вимірювань. Відомий метод вимірювання АЧХ, в основу якого покладено принцип слідування за крутизною характеристики в кожній точці частотного діапазону [7]. Це так звана адаптивна система вимірювання АЧХ на основі частотомодульованого тестового сигналу. Цей метод дозволяє значно зменшити вплив динамічних похибок.

Існують методи вимірювання АЧХ на основі генераторів із ступеневим переходом частот. Такими є генератори із цифровим задаванням частоти та цифрові синтезатори частот. В останній час використання цих методів значно поширилось. Відомі фірми-виробники вимірювальної техніки «Hewlett Packard», «Tektronix» випускають вимірювачі частотних характеристик, що використовують цифрові методи формування зондуєчого сигналу [1]. Схема вимірювання цих методів ідентична схемі вимірювання методу на основі генератора ЛЧМ-сигналу. Але і для цих методів притаманні усі недоліки розглянутого вище методу на основі ЛЧМ-сигналу та неможливість вимірювання ГВЗ. Причина динамічних похибок у кінцевому часі перебування частоти генератора із ступеневим переходом частот на одній частоті. Обробка результатів вимірювання проводиться за допомогою цифрових методів дискретного перетворення Фур'є.

Також існує метод адаптивного вимірювання АЧХ лінійних чотирьохполосників із застосуванням у якості тестових сигналів дискретної множини частот. Цей метод подібний до розглянутого вище адаптивного методу на основі частотомодульованого сигналу. Він полягає у тому, що при скануванні частотного діапазону тестовим сигналом із дискретним спектром одночасно із розрахунками АЧХ проводяться розрахунки крутості характеристики. При достатньо великих значеннях крутості АЧХ швидкість сканування уповільнюється.

Відомий метод, що є комбінацією аналогових методів формування зондуєчого сигналу та цифрових методів обробки результатів вимірювання [7]. Цей метод передбачає формування зондуєчого сигналу аналоговим методом – це ЛЧМ-сигнал. Потім отриманий сигнал подають на вхід чотирьохполосника. Сигнал з виходу пристрою подають на аналого-цифровий перетворювач. Далі вимірювання та розрахунки проводять у цифровому вигляді.

Другим підходом до вимірювання ЧХ є вимірювання із застосуванням багаточастотних тестових сигналів. Такими є сигнали, спектр яких складається більш, ніж з однієї спектральної складової. Використання таких тестових сигналів усуває вплив динамічних похибок.

Усі багаточастотні методи можна поділити на методи вимірювання у кожній точці частотного діапазону [7] та методи вимірювання в дискретних точках частотного діапазону [4].

До методів вимірювання у кожній точці частотного діапазону відносяться методи на основі тестових сигналів із неперервним спектром: квазі- δ -імпульс, М-послідовність. Розглянемо кожен сигнал.

Квазі- δ -імпульс створюється як короткий імпульс наносекундної довжини. При цьому, спектр такого сигналу широкий (ширина першої пелюстки порядку $1/\tau_1$ ГГц). Сигнал та його АЧС наведено на рис. 5.

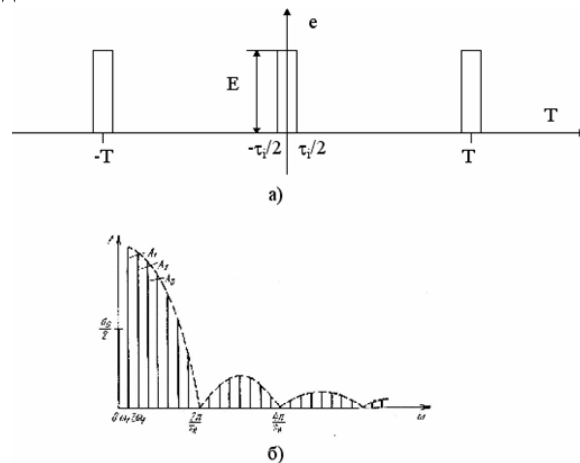


Рис. 5. Графік сигналу δ -імпульсу (а) та його енергетичний спектр (б)

Найбільшу цікавість викликає діапазон частот спектра, в якому спектр такого сигналу можна вважати рівномірним. Знайти смугу частот, у якій обвідна енергетичного спектра сигналу має рівномірну залежність, можна за допомогою формули (1), наведеної в літературі [3].

$$|a_n| = A_n = \frac{2E}{\pi n} \left| \sin \left(n\pi \frac{\tau_1}{T} \right) \right|; \quad (1)$$

При достатньо великих значеннях T та малих значеннях τ_1 дискретність спектра буде настільки мала, що його можна вважати неперервним. Причому, якщо n мале, то:

$$A_n \approx \frac{2E}{\pi n} \cdot \frac{n\pi\tau_1}{T} = E \frac{2\tau_1}{T}; \quad (2)$$

Таким чином, квазі- δ -імпульс дозволяє отримати досить широку смугу рівномірного енергетичного спектра для проведення вимірювань ЧХ без вимірювання рівня спектральних складових

сигналу, що подається на вхід. Він використовується при вимірюванні АЧХ, ФЧХ, ГЧЗ абонентських ліній зв'язку, оскільки окремі спектральні складові δ -функції мають однакову амплітуду і фазу. Недоліком цього сигналу є те, що в порівнянні з шумоподібним сигналом амплітуда кожної окремої спектральної складової імпульсного сигналу суттєво менша амплітуди сумарного імпульсу. А це призводить до підвищеного впливу шумів і завад тракту на результати розрахунку ЧХ.

Метод вимірювання ЧХ за допомогою сигналу типу М-последовність, можна віднести до статистичних методів тому, що сигнали такого типу відносяться до класу псевдошумових сигналів, а отже, їх спектр недетермінований у часі. Формування шумоподібного сигналу з рівномірно розподіленим спектром відбувається в цифровому вигляді за рахунок генератора псевдовипадкової последовності. За результатами вимірювань оцінюють спектр вихідного сигналу, форма обвідної якого відтворює АЧХ тракту. Недоліком шумоподібного сигналу є принципова неможливість вимірювання ФЧХ та ГЧЗ. Таким чином, точне вимірювання необхідно проводити протягом великого проміжку часу.

Відомі методи дискретного вимірювання АЧХ за допомогою багаточастотних тестових сигналів [6]. Усі ці методи застосовують зондуючі сигнали, формування яких спрощене у порівнянні із формуванням сигналів квазі- δ -імпульсу чи М-последовності.

Найпростішим багаточастотним зондуючим сигналом є меандровий сигнал, який має простий у формуванні широкий енергетичний спектр [3]. Але він має низьку дискретність спектра. Вигляд сигналу та його енергетичний спектр наведено на рис. 6.

Більшу дискретність спектра по частоті має цифровий меандровий сигнал із фазовою модуляцією [5]. Такий тест-сигнал являє собою последовність бінарних імпульсів з модуляцією по довжині. Недоліками розглянутих тестових сигналів (меандрового та меандрового з фазовою модуляцією) є те, що спектр таких сигналів не є рівномірним. Отже, для вимірювання АЧХ за їх допомогою необхідно проводити вимірювання спектра тестового сигналу як на вході чотириполосника, що досліджується, так і на його виході. Після чого розраховують коефіцієнт передачі на кожній частоті. Таким чином, вимірювання амплітудно-частотних характеристик спектральними методами займає багато часу.

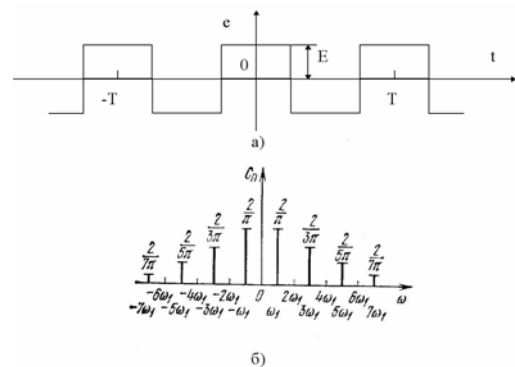


Рис. 6. Сигнал типу меандр (а) та його енергетичний спектр (б)

Провівши аналіз відомих методів вимірювання та вимірювальних сигналів, що застосовуються цими методами, можна сформулювати вимоги до вимірювального сигналу, які б дозволили знизити динамічну похибку та зменшити час вимірювання ЧХ лінійних чотириполосників.

Часові методи вимірювання ґрунтуються на використанні двох основних сигналів: ЛЧМ-сигналу в континуальних вимірюваннях та ДМЧ в дискретних вимірюваннях [5]. Перевагою цих сигналів є те, що спектральна характеристика цих сигналів за формою близька до прямокутної. Це дозволяє автоматизувати вимірювання, зменшити кількість обчислень за рахунок того, що вхідний сигнал чотириполосника, АЧХ якого необхідно поміряти, постійного рівня, тоді як вихідний сигнал пропорційний АЧХ чотириполосника.

Разом з позитивними сторонами сигналів ЛЧМ та ДМЧ, в них є і недоліки. При малому періоді сигналів виникають, по-перше, відхилення форми спектральної характеристики від прямокутної, по-друге, значні динамічні похибки, що призводять до зміщення резонансних частот, частот зрізу та інше при аналізі ЧХ чотириполосників. Розглядаючи спектральні методи вимірювання ЧХ лінійних чотириполосників, можна виділити переваги вимірювальних сигналів, що застосовують в цих методах.

Отже, вимірювальний сигнал повинен бути багаточастотним сигналом, сигналом, який в кожен момент часу складається більш, ніж з однієї гармоніки. Чим більша кількість гармонік присутня у складі сигналу у визначеному діапазоні частот, тим більшу точність по частоті дозволяє отримати такий вимірювальний сигнал. Таким чином, спектр вимірювального сигналу повинен бути прямокутним і безперервним.

Відома функція [3], що задовольняє більшу частину вимог до оптимального вимірювального сигналу. Це функція $f(\omega t) = \frac{\sin(\omega t)}{\omega t}$. Математичні дослідження цієї функції показують, що її область визначення рівна $(-\infty, +\infty)$. Отже, спектр її неперервний. В літературі [3, 5] наведено знаходження інтегралу Фур'є для наведеної функції. Її спектральну характеристику записують:

$$S = \begin{cases} \frac{1}{2\omega_m} \text{при } |\omega| \leq \omega_m, \\ 0 \text{ при } |\omega| \geq \omega_m. \end{cases} \quad (3)$$

Функція та її амплітудно-частотний спектр представлена на рис. 7.

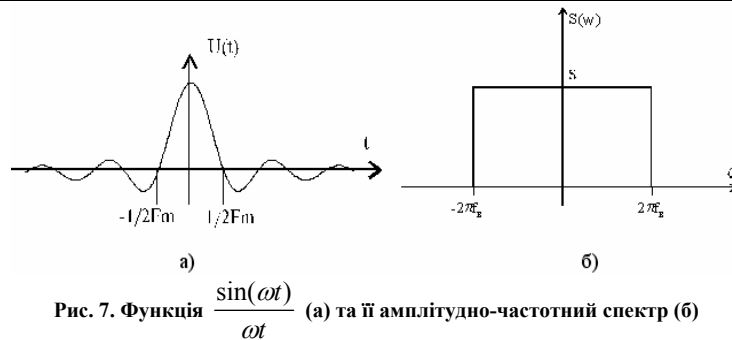


Рис. 7. Функція $\frac{\sin(\omega t)}{\omega t}$ (а) та її амплітудно-частотний спектр (б)

Висновки

Аналізуючи розглянуті вище методи вимірювання ЧХ лінійних чотириполосників, можна зробити такі висновки: методи вимірювання ЧХ ґрунтуються на використанні зондуючих сигналів, параметри яких змінюються у часі; за допомогою методів з використанням багаточастотних сигналів можна точніше і швидше виміряти параметри АЛЗ; найбільш близьким до визначених вимог для вимірювального сигналу є функція $f(\omega t) = \frac{\sin(\omega t)}{\omega t}$, спектральна характеристика якої має прямокутну форму. Але вона має недолік великого значення пік-фактору. Тому для зменшення похибок визначення ЧХ лінійних чотириполосників використовують сигнали, які мають прямокутний спектр і мінімальний пік-фактор.

Література

1. Бакланов И.Г. Методы измерений в системах связи. – М.: Эко-Трендз, 1999. – 193 с.
2. Бортник Г.Г., Кичак В.М. Яблонський. Методи та засоби оцінювання параметрів абонентських ліній зв'язку: Монографія. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2006. – 139 с.
3. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы: Учебник для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Сов.радио, 1977. – 496 с.
4. Мейзда Ф. Электронные измерительные приборы и методы измерений: Пер. с англ. – М.: Мир, 1990.
5. Радиотехнические цепи и сигналы: Учеб пособие для вузов / Д.В. Васильев, М.Р. Витоль, Ю.Н. Горшенков и др. / Под ред. К.А. Самойло. – М.: Радио и связь, 1982. – 528 с.
6. Тихонова Б.Н. Метрология и электрорадиоизмерения в телекоммуникационных системах: Учеб. пособие для вузов. – М.: Горячая Линия – Телеком, 2002. – 374 с.
7. А.с. № 1651245 СССР, МКИ G01 R 27/28 Устройство для измерения амплитудно-частотных и фазочастотных характеристик четырехполосников с преобразованием частоты: . / К.С. Коротков, В.В. Зарубин (СССР). – № 4650094/21; Заявлено 13.02.89; Опубл. 23.05.91, Бюл. № 19. – 8 с., ил.

Надійшла 12.2.2010 р.

УДК 621.317.73

Ю.М. БОЙКО, В.М. ЛОКАЗЮК, О.І. БОНДАРЧУК
Хмельницький національний університет

ОСОБЛИВОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ ЗАТУХАННЯ ПРИ ОПТИЧНІЙ РЕФЛЕКТОМЕТРІЇ ВОЛОКОННИХ СВІТЛОВОДІВ

Проведений аналіз визначення параметрів оптичних хвилеводів з допомогою методу імпульсної рефлектометрії. Розглянуті особливості рефлектограм при визначенні відстані до пошкоджень світловоду. Досліджений вплив тривалості зондуючих імпульсів на величину сигналу зворотного релеєвського розсіювання світла у волокні, ширину мертвої зони на початку рефлектограм та динамічний діапазон вимірювань.

The conducted analysis of determination of parameters of optical waveguides is with the help of method of impulsive measuring reflectometer. The considered features reflectors are at determination of distance to the damages of fibre explorers of light. Probed influence of duration of soundings impulses on the size of signal of reverse of Relleya dispersion of light in a fibre, width of dead area at the beginning to the reflectors and dynamic range of measurings.

Ключові слова: імпульсний метод рефлектометрії, оптичний світловод, рефлектограма, динамічний діапазон, «мертва» зона, зондуєчий імпульс.

ВСТУП

Основне обмеження для передачі інформації по волоконно-оптичній лінії зв'язку полягає в затуханні оптичного сигналу в міру його поширення по волокну. Інформація, що міститься в світловому сигналі, який розповсюджується по світловоду, має бути отримана і перетворена в свою початкову форму. В