УДК 666.1.036.5

А.К. Глєбов, Л.Ю. Гонтаренко, О.О. Манько, К.О. Ніколов

Державний університет телекомунікацій, Київ

ПРИНЦИПИ МОДЕЛЮВАННЯ РЕФЛЕКТОМЕТРИЧНИХ МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ ОПТИЧНИХ ТРАКТІВ

У роботі розглянуті питання чисельного моделювання оптичних рефлектограм та подій на них, при цьому використані статистичні методи розрахунку проходження світлового сигналу через оптичне волокно. Також враховані втрати у волокні, такі як поглинання та релеївське розсіювання, наведені результати моделювання елементарних подій у волокні.

Ключові слова: *оптичний зв'язок, оптичне волокно, поглинання, зворотне розсіювання, світловий квант, рефлектометричний метод, подія.*

Вступ

Постановка задачі. На сьогодні контроль якості волоконно-оптичних ліній передачі здійснюється шляхом вимірювання в них втрат світла. Для цього була розроблена апаратура, яка дозволяє не тільки знаходити повні втрати в лінії, але й розподіл втрат і коефіцієнтів відбиття уздовж лінії. Цими пристроями є оптичні рефлектометри [4]. Контроль величини втрат на будівельних довжинах оптичних кабелів і в зварних з'єднаннях волокон важливий не тільки для мінімізації повних втрат в лінії, але ще й тому що він дозволяє, хоча і побічно, судити про надійність лінії. Втрати можуть перевищити задане значення на якій-небудь ділянці лінії, найчастіше, через надмірне натягнення волокон у кабелі, наявності дефекту в зварному з'єднанні волокон або сильного вигину волокон у муфті. У цьому випадку не можна бути впевненим у тому, що ця ділянка лінії не буде в подальшому швидко деградувати і не виникне аварійна ситуація в результаті обриву волокон. Усі такі ділянки повинні бути виявлені і виправлені ще на стадії монтажу лінії.

Огляд відомих на сьогоднішній день технологій. Сучасні оптичні рефлектометри є одними з найбільш потужних апаратних засобів для інсталяції і технічного обслуговування ліній передачі зі структурою «точка-точка» [5]. Проте іноді навіть підготовлений, досвідчений оператор оптичного рефлектометра може зустрітися з труднощами при інтерпретації рефлектометричних подій. Трапляються випадки, коли майже неможливо точно визначити вид події на рефлектограмі чи втрати за результатами одного вимірювання через наявність таких подій, що можуть ускладнити або унеможливити вірне її тлумачення, наприклад, уявне «підсилення» сигналу на невідбиваючих подіях, появу помилкових сигналів унаслідок багаторазових відбиттів, наявність невідбиваючих обривів. У деяких надзвичайних випадках, щоб одержати необхідні результати, потрібно виконати тестування волокна з іншими параметрами або з обох кінців.

Мета роботи полягає у визначенні принципів моделювання та аналізу подій, що можуть виявлятись на рефлектограмах оптичних трактів, з метою адекватної інтерпретації їх результатів.

Принципи моделювання

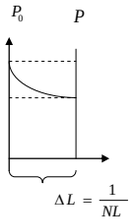
Методи моделювання рефлектометричних подій. Запропоновані в роботі принципи числового моделювання рефлектограм базуються на випадковому характері розсіювання або поглинання світлових квантів у матеріалі волоконного світловоду, тобто цей процес можна моделювати за допомогою методу Монте-Карло [1, 2]. У цьому випадку коефіцієнт релеївського розсіювання або коефіцієнт поглинання відрізку волокна може бути визначений як усереднений параметр на базі ймовірності розсіювання або поглинання кванту при проходженні цього відрізка. Таким чином, знаючи погонне загасання оптичного волокна та погонний коефіцієнт релеївського розсіювання, можна визначити ймовірність розсіювання або поглинання світлового кванту на відрізку оптичного волокна.

Припустимо, наприклад, що довжина відрізка волокна дорівнює $L = 1км$, а погонне загасання – $\sim_1, [дБ/км]$. Для переводу його в Непери використовується наступне співвідношення:

$$\sim_2 = \sim_1 \times 0.115[Нп/км] \qquad (1)$$

Число відрізків (ціле число) на одиничному інтервалі розбиття позначимо як NL. У цьому випадку рівень світлової потужності на виході відрізку волокна довжиною $\Delta L = 1/NL$ і буде визначатись згідно з рисунком 1. Таким чином, ймовірність проходження квантом певного відрізка,

або його поглинання визначається за допомогою погонного коефіцієнта загасання $\sim_1$.



$P = P_0 e^{-0{,}115\sim_1[дБ/км]\cdot\Delta L} = P_0 e^{\frac{-0{,}115\sim_1}{NL}}$

$\frac{P}{P_0}$ - ймовірність проходження квантом відрізка ΔL; $1-\frac{P}{P_0}$ - ймовірність непроходження

Рис. 1. Принципи моделювання оптичних рефлектограм

У випадку непроходження визначається ймовірність поглинання або розсіювання кванта: співвідношення між ними задається за допомогою коефіцієнта K_1, який визначає ймовірність розсіювання (K_1 <1). Таким чином, після визначення варіанту «непроходження» кванту включається генератор випадкових чисел і визначається результат на його виході – $PR2 = random$. Якщо $PR2 \le K_1$ – квант розсіюється, в іншому випадку поглинається, при цьому стан лічильника вхідних квантів збільшується на одиницю: $NK = NK + 1$ і починається процес проходження наступного кванта.

Метод статистичного моделювання. При моделюванні рефлектограм методом Монте-Карло враховані два види неоднорідностей волоконного світловоду (локальні і розподілені) та два види втрат – втрати за рахунок релеївського розсіювання і втрати за рахунок поглинання [3, 4]. Втрати на нелінійне перетворення не враховувались. Модель для розрахунків розроблена з урахуванням принципу дії оптичного рефлектометра.

При розрахунках відрізок волоконного світловоду було розділено на ряд елементарних відрізків, у межах яких задавалася ймовірність поглинання або розсіювання квантів під час проходження даного відрізка. Дальній кінець відрізка відповідно до моделі розрахунків був підключений до узгодженого навантаження. Світловий імпульс на вході оптичного волокна був представлений у вигляді δ-імпульсу, що складається з набору квантів. Розрахунки шляху проходження вздовж волоконного світловоду проводились для кожного із них, а потім здійснювалась статистична обробка результатів.

Для визначення загасання на обраному відрізку волоконного світловоду проводився розрахунок загального числа квантів на дальньому кінці світловоду. При цьому значення загасання відрізку оптичного волокна α було визначено згідно зі співвідношенням

$$\sim = 10 \lg\left(\frac{N_{IN}}{N_{OUT}}\right), \quad (2)$$

де N_{IN} – число квантів на вході оптичного волокна,

N_{OUT} – число квантів, що досягли його виходу.

Результати моделювання рефлектограм елементарних подій

Модель однорідного відрізку ОВ. Оптичний рефлектометр, який дозволяє вимірювати коефіцієнт відбиття методом поєднання прямого і відбитого тестових сигналів, оснований на використанні явища зворотного розсіювання світла, що виникає в оптичному волокні. Частина світла, що надходить, при проходженні вздовж волокна буде спрямована в зворотному напрямку. Зворотне світло досягне вхідного кінця волокна. Зворотне розсіювання світла є результатом релеївського розсіювання. Можна вважати, що в якісному волокні розсіяне світло рівноймовірно виникає по всій довжині волокна.

Повне загасання волоконного світловоду $\sim_3$, визначене згідно з даними статистичної обробки результатів моделювання зворотного розсіювання, приблизно в 2 рази вище загасання $\sim$, визначеного із співвідношення (2). Це пояснюється подвійним проходженням одного і того ж відрізка розсіяними світловими квантами і подвійними втратами, викликаними за цієї причини.

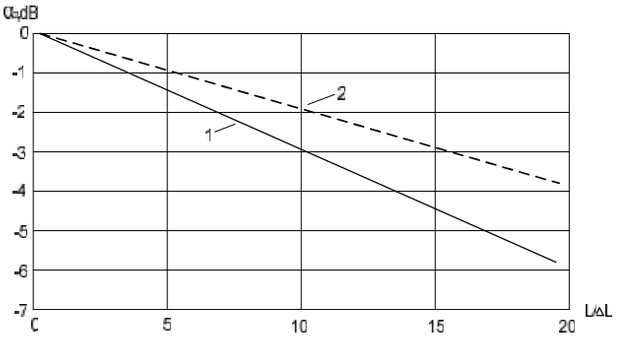


Рис. 2. Рефлектограма однорідних відрізків волокна:
1) α_α = 1.0 дБ, α_R = 2.0 дБ, α_Σ = 3.0 дБ;
2) α_α = 1.0 дБ, α_R = 0.9 дБ, α_Σ = 1.9 дБ

На рисунку 2 наведено результати моделювання рефлектограми однорідних відрізків оптичного волокна, в яких ймовірності розсіювання та поглинання уздовж волокна є постійними. Як видно з рисунку, рефлектограма являє собою практично пряму лінію. Причому нахил такої лінії визначається загальними втратами у волокні.

Тут α_α – втрати на поглинання, α_R – втрати на розсіювання, а α_Σ – загальні втрати.

Модель поглинаючої неоднорідності. Релеївське розсіювання утворюється через різні густину і склад ОВ, які є природними продуктами при існуючій технології виробництва. В ідеалі чисте скло має однорідну молекулярну структуру, отже, однакову густину по всій довжині. В існуючому склі густина не повністю однакова, внаслідок чого з'являється розсіювання. Розсіювання представляє собою нижню теоретичну межу загасання – 2.5 дБ на довжині хвилі 820 нм, 0.24 дБ на довжині хвилі 1300 нм та 0.12 дБ на довжині хвилі 1550 нм.

Поглинання – процес, при якому домішки у волокні поглинають оптичну енергію і розсіюють невелику кількість тепла. Світло втрачає інтенсивність. Ділянки ОВ з великими втратами утворюються за наявності вологи, де гідроксильні молекули поглинають світло у великих кількостях. До інших домішок, які є причиною поглинання, відносяться іони заліза, міді, кобальту, ванадію і хрому. Щоб підтримувати низькі втрати, виробники ОВ повинні підтримувати кількість цих іонів менше однієї частини на мільярд. Нові технології виробництва, включаючи виробництво волокна в надчистих умовах, дозволяють контролювати кількість домішок і зменшити поглинання в порівнянні з тим, що було декілька років тому. На рисунку 3 представлена рефлектограма ОВ, що містять локальні неоднорідності з рівнем загасання ~ $_l$.Як видно з кривих, рівень загасання локальних неоднорідностей, визначений методом зворотного розсіювання, також приблизно в 2 рази перевищує заданий. Аналогічні висновки можна зробити про повне загасання відрізка оптичного волокна.

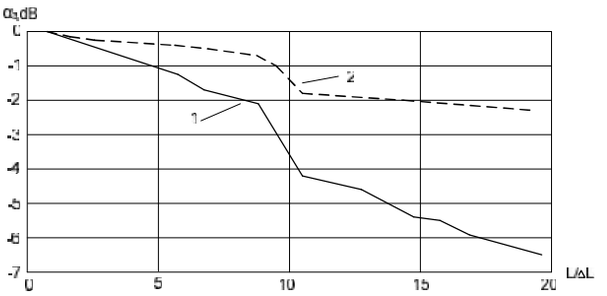


Рис. 3. Рефлектограма відрізків ОВ, що містять локальну неоднорідність:

1) α_α = 2.0 дБ, α_R = 0.5 дБ, α_l = 1.0 дБ, α_Σ = 3.4 дБ;

2) α_α = 0.5 дБ, α_R = 0.25 дБ, α_l = 0.5 дБ, α_Σ = 1.22 дБ

На рисунку 4 наведена рефлектограма оптичного волокна, що визначена для випадку відбиваючої локальної неоднорідності всередині оптичного волокна.

Рівень відбиття був визначений отриманою величиною загасання сигналу після проходження місця неоднорідності, ця величина дорівнює 1.0 дБ в обох напрямках (прямому і зворотному); рівень сигналу, розсіяного у зворотному напрямку, дорівнює +20.4 дБ.

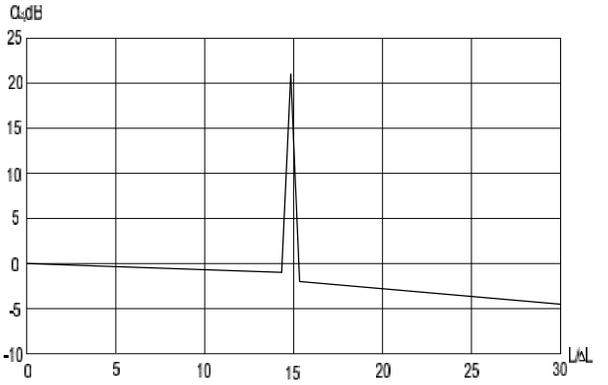


Рис. 4. Рефлектограма відрізку оптичного волокна,що містить локальну відбиваючу неоднорідність

Такий результат пояснюється тим, що рівень сигналу, розсіяного у зворотному напрямку, для ближнього відрізку волокна використовувався як нульовий рівень для розрахункового сигналу. Релеївське розсіювання характеризується цим рівнем в існуючому волокні.

Висновки

Методи моделювання рефлектометричних подій дозволяють досить точно відтворити різноманітні, як прості, так і складні події в оптичному волокні, а також провести їх прецизійний аналіз. Це дає можливість більш глибоко і об'єктивно інтерпретувати певну ситуацію на рефлектограмі. Крім того, це дає можливість створювати різні можливі моделі складних подій для проведення їх поглибленого аналізу з метою навчання та тренувань обслуговуючого персоналу за незначних витрат.

Список літератури

1. Горинштейн А.М. Практика решения инженерных задач на ЭВМ. – М.: Радио и связь, 1984. – 232 с.

2. В.А. Манько Статистический метод моделирования тонкопленочных оптических фильтров // Радиотехника. Всеукр. межвед.- научн. техн. сб. 2006. – Вып.144. – С. 193–197.

3. V. Katok, A. Manko, E. Koshman The measurements of Rayleigh Scattering level in a fiber using reflectometric principles // Вісник ДУІКТ. – 2005. – т.3. – №3,4. – С. 118 – 120.

4. Листвин А.В., Листвин В.Н. Рефлектометрия оптических волокон // - М.: ЛЕСАР арт, 2005. 208 с.

5. Скляров О.К. Волоконно-оптические сети и системы связи: Учебное пособие / О.К. Скляров. – СПб.: Издательство "Лань", 2010. – 272 с.

Надійшла до редакції 02.03.2014

Рецензент: д.т.н., проф. С.В. Толюпа, Державний університет телекомунікацій, Київ.

ПРИНЦИПЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ РЕФЛЕКТОМЕТРИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ ОПТИЧЕСКИХ ТРАКТОВ

А.К. Глебов, Л.Ю. Гонтаренко, А.А. Манько, К.А. Николов

В работе рассмотрены вопросы численного моделирования оптических рефлектограмм и событий на них, при этом использованы статистические методы расчета прохождения светового сигнала через оптическое волокно. Так же учтены причины потерь в волокне, такие как поглощение и рэлеевское рассеивание, приведены результаты моделирования элементарных событий в волокне.

Ключевые слова: *оптическая связь, оптическое волокно, поглощение, обратное рассеивание, световой квант, рефлектометрический метод, событие.*

PRINCIPLES OF MODELLING REFLECTOMETRIC METHODS OF INVESTIGATING OPTICAL TRACTS

A.K. Glebov, L.Y. Gontarenko, A.A. Manko, K.A. Nikolov

This article discusses the issues of numerical modeling of optical reflectograms and events on them, with using of statistical methods for calculating passing light signal through an optical fiber. Also was taken into consideration causes losses in optical fiber, such as absorption and Rayleigh scattering, were given simulation results of elementary events in the fiber.

Keywords: *optical communications, optical fiber, absorption, backscatter, light quantum, OTDR method, an event.*