

ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ І ХАРАКТЕРИСТИК ОПТИЧНИХ ВОЛОКОН ТА ТРАКТІВ МЕТОДОМ ЧИСЛОВОГО МОДЕЛЮВАННЯ

В роботі досліджено принципи числового моделювання оптичних рефлектограм на базі статистичних методів розрахунку. Розглянуто рефлектограми оптичного тракту, що містять як локальні, так і розподілені неоднорідності. Наведено рефлектограми оптичних трактів, що містять волокна з різною числовою апертурою.

Ключові слова: волоконно-оптичний тракт, рефлектограма, подія, оптичне волокно, числова апертура.

Рефлектометричні методи вимірювання ВОЛЗ вже зараз дозволяють вирішувати цілий ряд важливих проблем, що стосуються втрат у лінійному тракті і його елементах, визначення відстані до місця пошкодження оптичного волокна, вимірювання затухання. Сучасні оптичні рефлектометри є одними з найбільш потужних апаратних засобів для інсталяції і технічного обслуговування ліній передачі зі структурою "точка-точка". Вони забезпечують можливість проведення вимірювань тільки з одного кінця оптичного кабелю, визначають пошкодження і параметри компонентів ВОЛЗ по всій довжині волокна, надають наглядну інформацію про стан ліній зв'язку. Проте іноді навіть підготовлений, досвідчений оператор оптичного рефлектометра може зустрітися з труднощами при розшифровці рефлектограм волокна. Бувають випадки, коли майже неможливо точно визначити вид події на рефлектограмі чи втрати за результатами одного вимірювання. В деяких надзвичайних випадках, щоб одержати необхідні результати, необхідно протестувати волокно з іншими параметрами або з обох кінців. Під час вимірювань можна спостерігати «підсилення» рефлектометричного сигналу на невідбиваючій події, появу помилкових сигналів внаслідок багаторазових відбиттів, наявність подій, що важко ідентифікувати. Тому важливого практичного значення набуває питання аналізу оптичних рефлектограм для адекватної інтерпретації їх результатів. З цією метою в даній роботі було проведено створення математичної моделі волоконного світловоду з урахуванням втрат на поглинання і розсіювання, виконано розробку методики розрахунку розповсюдження квантів у волокні методом Монте-Карло, числове моделювання рефлектограм з локальними і розподіленими неоднорідностями і таких, що містять відрізки волокна з різними параметрами.

Принципи побудови програми для проведення числового моделювання рефлектограм базуються на випадковому характері розсіювання або поглинання світлових квантів в матеріалі волоконного світловоду, тобто цей процес можна моделювати за допомогою методу Монте-Карло [1,2]. В цьому випадку коефіцієнт релеєвського розсіювання або коефіцієнт поглинання відрізка волокна може бути визначений як усереднений параметр на базі ймовірності розсіяння або поглинання кванту при проходженні цього відрізка. Таким чином, знаючи погонне загасання оптичного волокна та погонний коефіцієнт релеєвського розсіяння, можна визначити ймовірність розсіяння або поглинання світлового кванту на відрізку оптичного волокна.

Числове моделювання рефлектограм. При моделюванні рефлектограм методом Монте-Карло враховані два види неоднорідностей волоконного світловоду (локальні і розподілені) та два види втрат - втрати за рахунок релеєвського розсіювання і втрати за рахунок поглинання [3]. 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 представлений у вигляді δ -імпульса, 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 вході дальнього кінця світловоду. При цьому значення загасання відрізка оптичного волокна α було визначено згідно зі співвідношенням

$$\alpha = 10 \lg \left(\frac{N_{IN}}{N_{OUT}} \right), \quad (1)$$

де N_{IN} - число квантів на вході оптичного волокна, N_{OUT} - число квантів, що досягли його виходу.

Моделювання однорідного відрізка оптичного волокна. Оптичний рефлектометр, який дозволяє вимірювати коефіцієнт відбиття методом поєднання прямого і відбитого випробувальних сигналів, оснований на використанні явища зворотного розсіювання світла, що виникає в оптичному волокні. Частина світла, що надходить, при проходженні вздовж волокна буде відбита назад. Відбите світло досягне вхідного кінця волокна. Відбиття є результатом релеевського розсіювання і френелівського відбиття. Релеевське розсіювання – це розсіювання, викликане зміною показника заломлення через флуктуації густини і складу матеріалу серцевини волокна, що з'являються при виготовленні волокон. Можна вважати, що в якісному волокні розсіяне світло рівномірно розподіляється по всій довжині волокна. Відбиття Френеля виникає через зміну індексу відбиття в місцях з'єднання, зрощування і на кінцях волокна. Частина світла, розсіяного в результаті релеевського розсіювання і відбиття Френеля, досягає вхідного кінця волокна як зворотно відбите світло.

На рис.1 представлені рефлектограми однорідних оптичних волокон з різними значеннями втрат поглинання α_α і розсіювання α_R .

Як видно з рефлектограми, повне загасання волоконного світловоду α_z , визначене згідно з даними статистичної обробки результатів зворотного розсіювання, приблизно в 2 рази вище загасання α , визначеного із співвідношення (1). Це пояснюється подвійним проходженням одного і того ж відрізка розсіяними світловими квантами і подвійними втратами, викликаними цією причиною.

Моделювання відрізків ліній з локальними неоднорідностями

Релеевське 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 зворотно пропорційне четвертій степені довжини хвилі $(1/\lambda^4)$, тому воно швидко зменшується на великих довжинах хвиль. Розсіювання представляє собою нижню теоретичну межу загасання - 2,5 дБ на 820 нм, 0,24 дБ на 1300 нм та 0,012 дБ на 1550 нм.

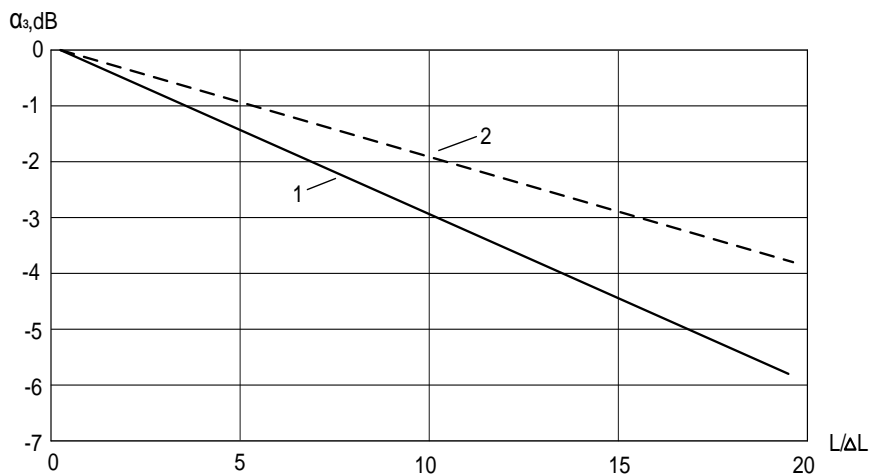


Рис. 1. Рефлектограма однорідних відрізків волокна;

$1 - \alpha_a = 1,0$ дБ, $\alpha_R = 2,0$ дБ, $\alpha_\Sigma = 3,0$ дБ; $2 - \alpha_a = 1,0$ дБ, $\alpha_R = 0,9$ дБ, $\alpha_\Sigma = 1,9$ дБ

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, кобальта, ванадіума і хрома. 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 рис.2 представлена рефлектограма ОВ, що містять локальні неоднородності з рівнем загасання α .

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.

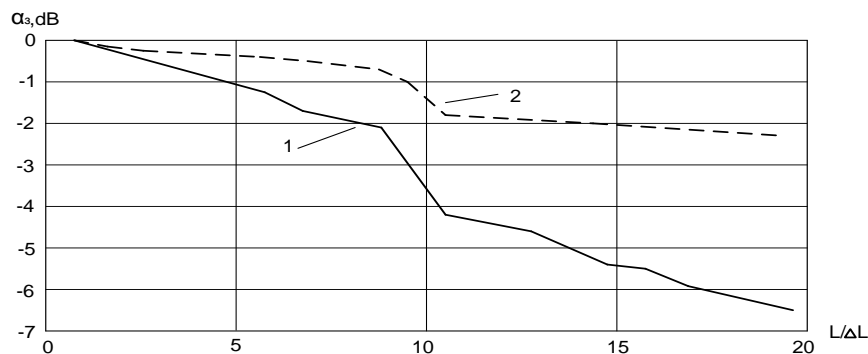


Рис. 2. Рефлектограма відрізків ОВ, що містять локальну неоднорідність; $1 - \alpha_a = 2,0$ дБ, $\alpha_R = 0,5$ дБ, $\alpha_1 = 1,0$ дБ, $\alpha_\Sigma = 3,4$ дБ; $2 - \alpha_a = 0,5$ дБ, $\alpha_R = 0,25$ дБ, $\alpha_1 = 0,5$ дБ, $\alpha_\Sigma = 1,22$ дБ

На рис.3 приведена рефлектограма оптичного волокна, визначена для випадку відбиваючої локальної неоднородності всередині оптичного волокна.

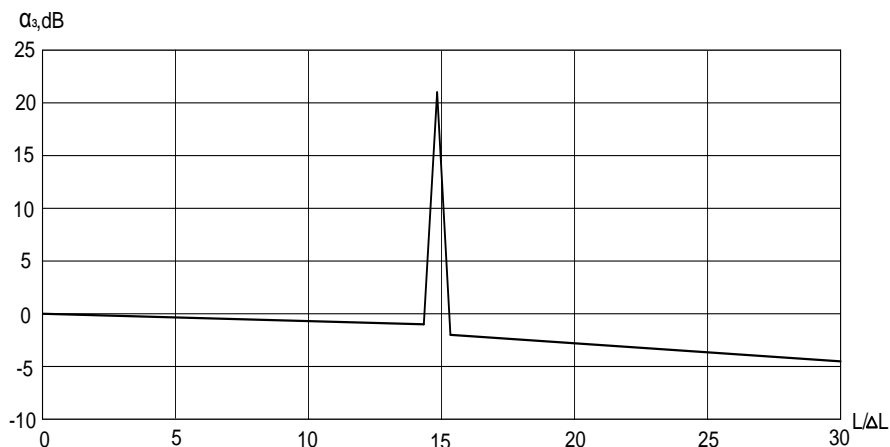


Рис. 3. - Рефлектограма відрізка оптичного волокна, що містить локальну відбиваючу неоднорідність

Рівень відбиття був визначений отриманою величиною загасання сигналу після проходження місця неоднородності - ця величина дорівнює 1,0 дБ в обох напрямках (прямому і зворотньому); рівень сигналу, розсіяного у зворотньому напрямку, рівний +20,4 дБ. Такий результат пояснюється тим, що рівень сигналу, розсіяного у зворотньому напрямку, для ближнього кінця волокна визначавсь як нульовий рівень для розрахункового сигналу. Релеєвське розсіювання характеризується цим рівнем в існуючому волокні.

Моделювання відрізків ліній з розподіленими неоднорідностями. На рис. 4 приведені результати розрахунків оптичного волокна, яке містить розподілену неоднорідність, представлену відрізком волокна (відрізок 2) з меншим коефіцієнтом загасання. Ділянки 1 і 3 мають однаковий коефіцієнт загасання. Як показують діаграми, результати дозволяють однаково визначати коефіцієнт загасання для кожного відрізка, що містить розподілену неоднорідність.

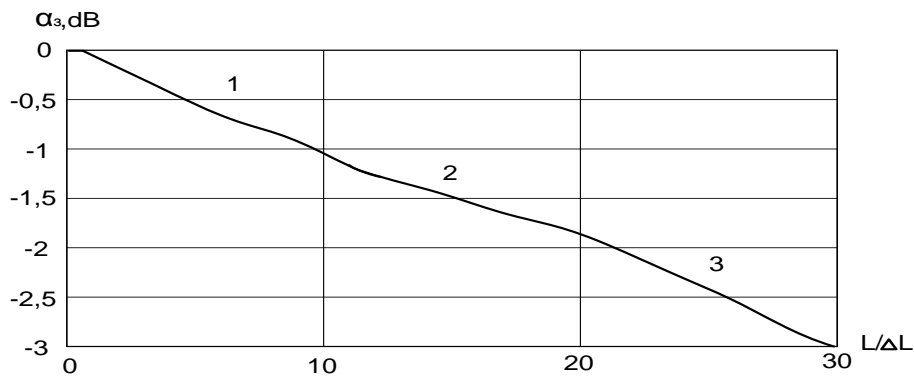


Рис. 4. Рефлектограма ділянки оптичного волокна; $\alpha_1 = \alpha_3 = 2,0$ дБ/Л, $\alpha_2 = 1,0$ дБ/Л

Моделювання відрізків оптичного волокна з різними числовими апертурами. Числова апертура NA – важливий параметр, що характеризує волокно. Вона пов'язана з максимальним кутом θ_A випромінювання, яке вводиться у волокно з вільного простору. При такому випромінюванні світло зазнає повного внутрішнього відбиття і поширюється вздовж волокна. Це можна подати за виразом [4]:

$$NA = \sin \theta_A \quad (2)$$

Фірми-виробники волокна експериментально вимірюють кут θ_A і вказують значення числової апертури для кожного типу волокна, що поставляється.

На рис.5 показано рефлектограму частини лінії з трьома ділянками оптичного волокна з різними числовими апертурами. Геометричні параметри всіх волокон були однаковими. Показник заломлення серцевини волокна однаковий для всіх секцій і це виключає втрати, викликані відбиттям на стику волокна. Різниця числових апертур була визначена тільки різницею значення показника заломлення оболонки.

Таким чином, зміна числової апертури визначалась зміною показника заломлення оболонки. Величина загасання для всіх ділянок однакова, і вона підтверджується схожими нахилами всіх ділянок рефлекторами. Друга ділянка приблизно на 0,8 – 0,9 дБ вища, ніж величини сусідніх. Це пояснюється наступним: збільшення числової апертури другої ділянки викликає зменшення критичного кута:

$$\theta = \arcsin(n_2/n_1), \quad (3)$$

де n_1 і n_2 – показники заломлення серцевини і оболонки.

Тому більшість зворотно розсіяних квантів будуть повністю відбиті і досягнуть входу оптичного волокна. Це їх повернення буде відображатись підвищенням рівня другої ділянки. Збільшене значення визначене іншим методом і дорівнює 0,9 дБ, що повністю відповідає рефлектограмі.

На рис.6 приведені результати розрахунку у випадку, коли ділянка з числовою апертурою $NA=0,17$ розміщується між ділянками з апертурою $NA=0,21$.

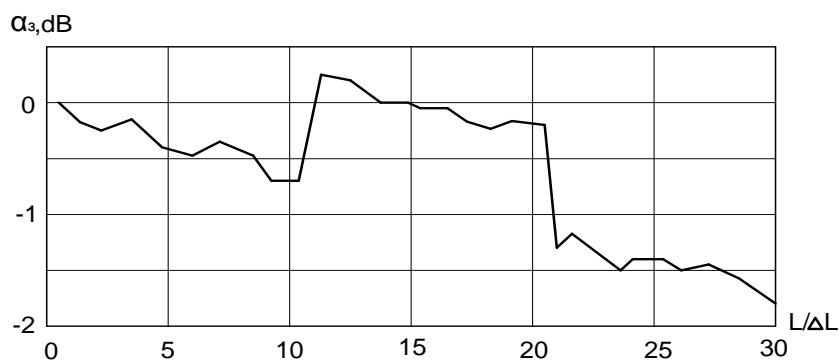


Рис. 5. Рефлектограма відрізка волокна з числовою апертурою $NA=0,21$, розміщеного між відрізками з апертурою $NA=0,17$

В цьому випадку величина зворотно розсіяних квантів зменшиться. Це також підтверджується типом рефлектограми і співпадає з розрахунковою величиною зменшення. Коефіцієнт загасання $\alpha_1 = 0,8$ дБ/Л для всіх ділянок однаковий. Таким чином, за допомогою рефлектограми можна визначити співвідношення між числовими апертурами сусідніх відрізків оптичних волокон при умові, що параметри релеєвського розсіювання оптичних волокон будуть однакові.

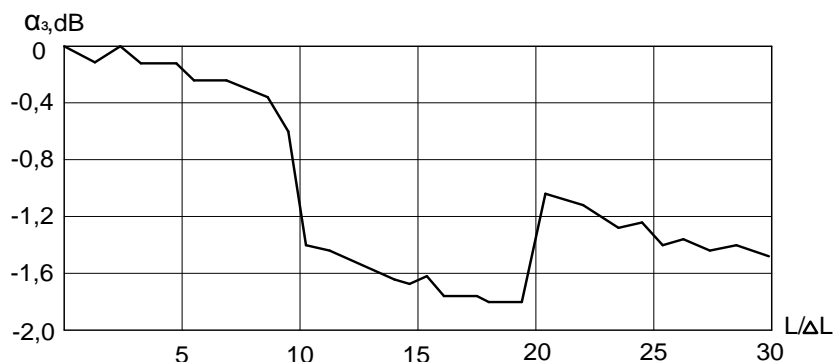


Рис. 6. Рефлектограми ділянки волокна з числовою апертурою $NA=0,17$, що розміщена між ділянками з апертурою $NA=0,21$.

Висновки

Результати досліджень підтверджують можливість моделювання оптичних рефлектограм за допомогою запропонованого методу та адекватної інтерпретації подій, що відображаються на них. Перевагою числового моделювання рефлектометричних вимірювань є можливість розгляду будь – яких подій та ситуацій, створення яких у реальних випадках з метою аналізу потребує значних витрат коштів та часу.

ЛІТЕРАТУРА

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. Каток В. Б. Волоконно-оптичні системи зв'язку. – Київ

Надійшла: 2.11.2013р

Рецензент: д.т.н., проф. Розорінов Г.М.