

УДК 515.2:536.3

ПРОЦЕСИ, ЩО ВИНΙΚАЮТЬ ПРИ ДЕФОРМАЦІЇ ОПТИЧНОГО ВОЛОКНА

Надкернична Т.М., старший викладач,

Дмитрієнко О.С., студентка

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (Україна, м. Київ)

Анотація – В статті описані процеси, що відбуваються при вигині оптичного волокна, зокрема такі зміни сигналу, як дисперсія, згасання та втрати інтенсивності на перегинах. Проаналізований вплив механічних дефектів волокна на поширення сигналу.

Ключові слова – оптичне волокно, пропускна здатність, згасання сигналу, критичний радіус вигину, радіус згибу, міжмодова дисперсія, матеріальна дисперсія, світловод, втрати сигналу на перегинах.

Інформаційні мережі на основі оптичного волокна здатні передавати сигнал на великі відстані з малими втратами, забезпечуючи при цьому високу швидкість передачі інформації. Останнім часом в інженерії широко впроваджується використання рефлектометрів, для дослідження не тільки рівня згасання сигналу в оптичному волокні, але й для моніторингу, наприклад, деформацій будівельних конструкцій або зсувів ґрунту [1,5]. Саме тому проблема дослідження є актуальною.

Мета дослідження: проаналізувати процеси, що виникають в оптичному волокні при його деформації та з'ясувати їх вплив на поширення сигналу.

Основна частина

Застосування для передачі даних оптичних волокон неодмінно супроводжується їх вигинами при прокладках кабелю, що зумовлено

особливостями архітектури приміщень, розташуванням мережевої апаратури. Аналіз наукових публікацій, інтернет-видань показав, що:

- розвиток технологій сприяє поліпшенню характеристик оптичних волокон та підвищенню їх стійкості до деформацій [3];
- проведені різноманітні дослідження коефіцієнта пропускання оптоволоконна від радіусу його кривизни [3,5,6,7];
- інтенсивно розвивається імпульсна рефлектометрія, що проявляється у застосуванні затухання сигналу при деформаціях оптичних волокон для реєстрації сеймосигналів (навіть при довжині волокна 20 м), деформацій будівельних конструкцій тощо [5].

Зазначене свідчить про необхідність вивчення фізичних властивостей оптичного волокна як середовища поширення сигналу з метою покращення якості передачі сигналу, збільшення її швидкості і обсягу переданих даних.

Розглянемо процеси, що виникають при *деформації* оптичного волокна. Розрізняють такі зміни сигналу при вигині хвилеводу: дисперсія; затухання (згасання).

Дисперсія являє собою розширення світлового імпульсу в процесі його проходження по оптичному волокну, вона обмежує ширину смуги пропускання та інформаційну ємність кабелю. Існують наступні типи дисперсії: міжмодова; матеріальна; хроматична. [4]

Модова (міжмодова) дисперсія – це дисперсія, що існує тільки в широкосмуговому хвильоводі та викликана різною швидкістю поширення променів з різним значенням центральної частоти спектру, що передається, вони досягатимуть виходу в різний час, що приводить до збільшення тривалості імпульсу на виході. Число мод, що розповсюджується по волокну, можна розрахувати наступним чином [5]:

$$M = \frac{v^2}{2} \quad (1)$$

де v – нормалізована частота. Якщо $v=2,405$ або менше, то розповсюджується лише одна мода, якщо ж більше - багато мод.

До приймального кінця волокна енергія різних мод надходить з певною затримкою. Це викликає розмазання прийнятого імпульсу, що надає деструктивну дію, оскільки частина енергії потрапляє в бітовий інтервал сусіднього біта.

Матеріальна дисперсія викликана тим, що різні довжини хвиль проходять через певні матеріали з різними швидкостями. Її визначають як співвідношення залежності довжини хвилі від показника заломлення того матеріалу, з якого сформований світловод.

Затухання – втрати оптичної енергії сигналу під час проходження світла по волокну. Залежить від довжини світла та вимірюється у дБ/км.

Згасання інтенсивності сигналу визначається за формулою [2]:

$$\alpha = \frac{10}{L} \lg \frac{P_{out}}{P_{in}}, \quad (2)$$

де α -коефіцієнт затухання, L- довжина оптичного волокна (км), P_{out} -вихідна потужність(зареєстрована світлодіодом), P_{in} - вхідна потужність (потужність джерела випромінювання).

Втрати сигналу на перегибах оптичного волокна залежать від радіусу вигину [3] за експоненціальним законом

$$\alpha \sim \exp(-R/R_k) \quad (3)$$

де R- радіус вигину світловода,

R_k -критичний радіус вигину оптоволокна, який наближено розраховується за формулою 4 [5]:

$$R_{kp} \approx \frac{3n_1^2 \lambda}{4\pi(n_1^2 - n_2^2)^{\frac{3}{2}}} \quad (4)$$

- n_1, n_2 - показники заломлення серцевини та оболонки;
- λ - довжина хвилі випромінювання, яке приймається.

У разі вигину оптичного волокна понад допустимого радіусу (для стандартного одномодового волокна близько 50 мм, для світловода близько 80 мм [1,2,5]) порушується кут падіння світла на межу розділу серцевина-оболонка, через що значна частина розповсюдженого по волокну світла не

тільки виходить за межі серцевини, але і зовсім виходить з волокна. Були проведені відповідні дослідження залежності затухання сигналу від радіусу кривизни волокна для різних довжин хвиль [6, 7]. (див. рис. 1 та рис. 2)

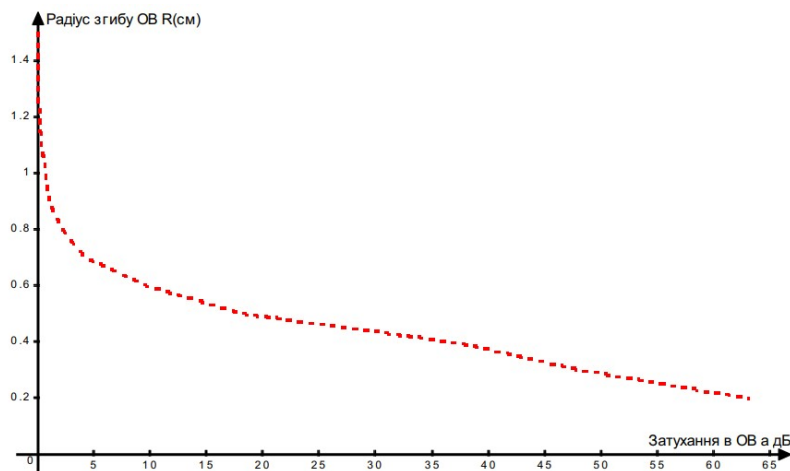


Рис. 1 Графік залежності затухання сигналу від радіуса згибу оптоволоконна на довжині хвилі 1550 нм. [5]

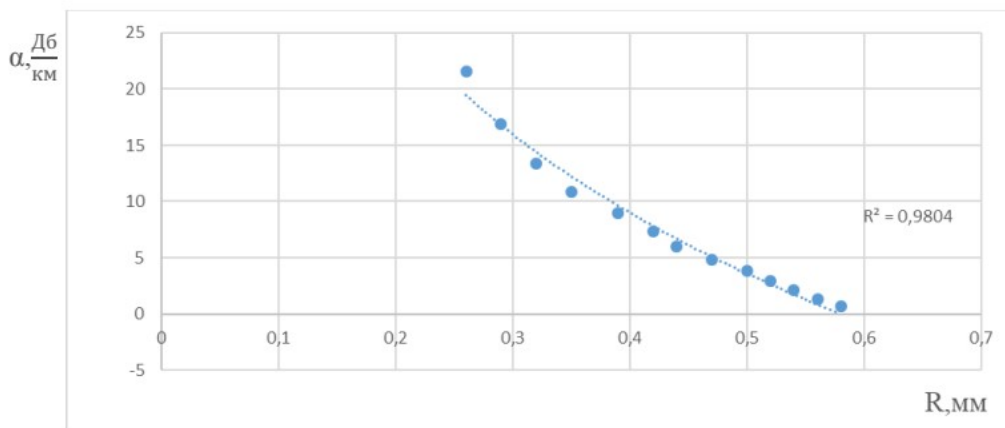


Рис. 2. – Графік залежності втрат сигналу від радіуса кривизни волокна для довжини хвилі 532 нм. [6]

Висновок

Таким чином, було розглянуто процеси, що відбуваються при деформаціях оптичних волокон та визначено основні причини втрати сигналу. Теоретично визначено закон зміни інтенсивності оптичного сигналу, що передається світловодом, при перегибах в залежності від радіусу вигину хвилевода. Зазначені критичні (мінімальні) радіуси вигину оптичних волокон в залежності від кількості мод (одномодове волокно або

багатомодове- світловод). Проаналізовані можливі напрямки застосування оптичних волокон в рефлектометрії.

Бібліографічний список

1. Paschotta.R [Encyclopedia of Laser Physics and Technology](#) Edition October 2008 , 844 Pages WILEY-VCH , 2008. – 844 з. P.215-219.
2. Fiber Optic Sensors: Fundamentals and Applications [Text] / David A. Krohn 2015, с.161-165.
3. Matthijsse P., Kuyt G. Влияние изгибов оптических волокон на их характеристики //Кабели и провода. – М.: «Кабели и провода», 2005, №4, с. 17-22
4. Волоконна та інтегральна оптика: Навчальний посібник для студентів /Уклад.: О.К. Кучеренко. –К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017.– 216с
5. Новые возможности ВОЛС для мониторинга деформации сооружений и смещений грунта: FiberTOP.RU. URL: https://fibertop.ru/monitoring_deformaciy_sooruzeniy_i_smescheniya_grunta/
6. Дмитрієнко О.С., Растьогін М.Ю. Дослідження втрати інтенсивності сигналу при вигині оптичного волокна //Матеріали VII Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених з автоматичного управління присвячена Дню космонавтики. Херсон: Видавництво ПП Вишемірський В.С., 2019. – с.59
7. Резак Е.А. Потери при изгибе оптоволокна. // Вестник Санкт-Петербургского университета. Физика и химия . – СПб.: СПбГУ, с. 119-122: URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=14340818>.