

УДК 519.688

В.О. КРАВЕЦЬ, Н.В. ДЖЕНЮК, О.А. СЕРКОВ, М.С. СВІТАЙЛО

Національний технічний університет «ХПІ», Україна

## РОЗРОБКА СПОСОБУ ВІДВОДУ ІНФОРМАЦІЇ ІЗ ОПТИЧНОЇ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОЇ ЛІНІЇ ЗВ'ЯЗКУ

Проведено аналіз існуючих методів відводу інформації із оптичних телекомунікаційних ліній зв'язку. Запропонована порівняльна характеристика цих методів та визначені їх вади та недоліки. Розроблено практичні пропозиції щодо можливості регулювання рівня відведеної енергії із оптичної лінії зв'язку без механічних ушкоджень основного оптичного каналу зв'язку. Обґрунтовані найбільш придатні шляхи практичної реалізації запропонованого способу.

**Ключові слова:** оптична лінія зв'язку, коефіцієнт заломлення, оптична неоднорідність, віддзеркалення, швидкість розповсюдження.

## Вступ

Бурхливий розвиток телекомунікації передбачає здійснення відповідних заходів на базі телекомунікаційних мереж наступного покоління. Сучасні телекомунікаційні системи будуються на ґрунті різних елементів і фрагментів мереж, які відносяться як до аналогового, так і цифрового етапів розвитку. Тому в основі побудови сучасних телекомунікаційних систем знаходить своє застосування ідея конвергенції, яка забезпечує перехід до однорідних структур. При цьому створення, розробка та впровадження в апаратурі обробки інформації сучасних оптичних хвильоводів, пристроїв вводу і виводу випромінювання, спрямованих відгалужувачів дозволяє суттєво підвищити швидкість та надійність телекомунікаційних каналів зв'язку.

**Аналіз літератури. Постановка задачі.** Одним з важливих показників оптичних речовин є його показник заломлення. Згідно хвильової теорії світла показник заломлення речовини  $n$  являє собою відношення швидкості світла у вакуумі  $c$  до швидкості світла у середовищі цієї речовини  $v$ .

$$n = c / v \quad (1)$$

Для усіх відомих оптичних речовин цей показник  $n > 1$ . На межі розподілу двох оптичних середовищ із різними кутами заломлення частина світла віддзеркалюється (віддзеркалення Френеля), а обличена частина світла перетинає межу розподілу, створюючи заломлений промінь, який розповсюджується під кутом  $\theta_2$  (рис.1).

Згідно закону Снелліуса [1] між кутом падіння  $\theta_1$  та кутом заломлення  $\theta_2$  існує наступне співвідношення.

$$n_1 \cdot \sin(\theta_1) = n_2 \cdot \sin(\theta_2) \quad (2)$$

Та коли кут падіння променя  $\theta_1$  збільшувати, то з якогось його значення заломлений промінь повністю зникає ( $\theta_2 = 90^\circ$ ). Такий кут стає критичним кутом  $\theta_c$ , величина якого визначена наступним співвідношенням:

$$\theta_c = \arcsin(n_2 / n_1) \quad (3)$$

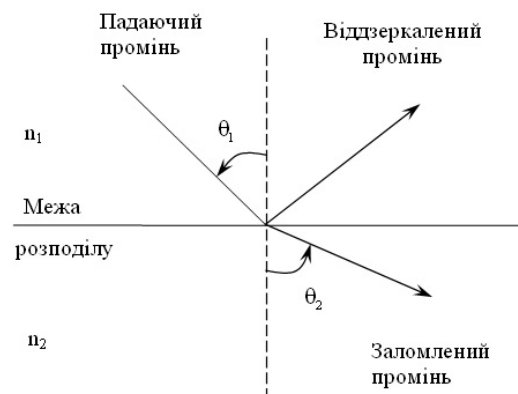


Рис. 1. Схема виникнення заломленого променя

При кутах більше критичного, світло повністю віддзеркалюється та до внутрішнього середовища не проникає, причому його інтенсивність дорівнює інтенсивності падаючого. Це явище являє собою повне внутрішнє віддзеркалення. При цьому показник заломлення оптичної речовини залежить як від хімічного складу середовища, її стану (температури, тиску), так і довжини хвилі світла. Таким чином він пов'язан із діелектричною ( $\epsilon$ ) і магнітною ( $\mu$ ) проникливостями середовища наступним співвідношенням:

$$n = \sqrt{\epsilon \cdot \mu} \quad (4)$$

Під час розрахунків характеристик реального розповсюдження світла у оптоволокні використовується величина числової апертури (NA), яку можна знайти із співвідношення:

$$NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (5)$$

Вона визначає кутовий растр вхідного конуса, який обмежує найбільший кут вводу світла до оптоволокна.

$$NA = \sin(\theta) \quad (6)$$

Причому, чим більше значення NA, тим краще світло вводиться до оптоволокна, натомість при її малому значенні вводиться достатньо вузько спрямований промінь світла. Сучасне оптоволокно має сердцевину із коефіцієнтом заломлення, який більше коефіцієнта заломлення речовини оболонки. Світловий промінь, падаючи із середовища оптично більшої щільності (серцевина) на поверхню розділу із середовищем оптично менш щільним, під кутом, більш ніж критичний кут, відчуває повне внутрішнє віддзеркалення, та багатократно відбиваючись, просувається уздовж оптоволокна, не виходячи до зовнішнього простору.

Таким чином для відводу інформації із оптоволокна у телекомунікаційних лініях зв'язку слід змінювати коефіцієнт заломлення оптичної речовини, яка обійме його сердцевину, порушуючи при цьому умови повного внутрішнього віддзеркалення. І основною умовою цього є підвищення коефіцієнта заломлення речовини оболонки до рівня, який перевищує коефіцієнт заломлення сердцевини. Шляхами такого підвищення є підвищення характеристик речовини оптичної оболонки  $\epsilon$ ,  $\mu$  (4) чи створення оптичної неоднорідності всередині оптоволокна.

Існують способи відводу світлової енергії із оптичного волокна волоконно-оптичної системи передачі інформації [2], які створюють оптичну неоднорідність у середині оптичного волокна. Причому таку неоднорідність створюють шляхом нанесення струмопровідного шару на бокову поверхню та подальшим здійсненням електровибуху. Розміщення на цій ділянці пристрою реєстрації відведеного інформаційного світлового сигналу дозволяє здійснювати подальшу реєстрацію розсіяного на неоднорідності інформаційного сигналу. За рахунок дії ударної хвилі під час здійснення електровибуху у середині оптичного волокна виникає дефект, завдяки якому підвищується рівень сигналу, який виходить через бокову поверхню оптичного волокна. Це дозволяє здійснити ефективний відвід інформації через бокову поверхню оптичного волокна волоконно-оптичної системи передачі інформації. Однак його недоліком є неможливість регулювання рівня відведеного інформаційного сигналу. Крім того, під час здійснення електровибуху виникає можли-

вість виводу із ладу самої волоконно-оптичної системи передачі інформації. Удосконаленням цього є спосіб відводу світлової енергії із оптичного волокна [3], шляхом створення оптичної неоднорідності у середині оптичного волокна за рахунок розміщення на цій ділянці циліндричного акустичного випромінювача, який збуджує у середині оптичного волокна стоячу акустичну хвилю, що створює оптичну неоднорідність. За рахунок використання акустичного випромінювача у місці його розташування у середині оптичного волокна створюється стояча циліндрична акустична хвиля, яка являє собою оптичну неоднорідність, де розсіюється інформаційний світловий сигнал. Завдяки відсутності електровибуху суттєво зменшує ймовірність виводу із ладу самої волоконно-оптичної системи передачі інформації. Однак складність створення оптичної неоднорідності всередині оптичного волокна та ймовірність виводу із ладу самої волоконно-оптичної системи передачі інформації зостається досить високою. Крім того немає можливості регулювання рівня відведеного інформаційного сигналу.

**Метою статті** є розробка пропозицій щодо методів відводу інформації із оптоволокна, яке є основним середовищем передачі інформації у телекомунікаційних лініях зв'язку, без механічних ушкоджень основного оптичного каналу зв'язку.

## Основна частина

**Відвід інформації за рахунок зміни щільності оптичної речовини.** Для відводу інформації із оптичної телекомунікаційної лінії зв'язку запропоновано створювати оптичну неоднорідність шляхом зміни температури ділянки оптичного волокна без захисної оболонки відносно температури оптичного волокна із захисною оболонкою. Створення оптичної неоднорідності відбувається за рахунок зміни щільності ділянки оптичної телекомунікаційної лінії зв'язку, яка залежить від температури. Так із підвищенням температури щільність оптоволокна знижується у середньому  $15 \text{ кг/м}^3$  на кожні  $100^\circ\text{C}$ . У свою чергу зміна щільності оптичного волокна призводить до зміни швидкості розповсюдження оптичного інформаційного сигналу на цій ділянці, що викликає зміну коефіцієнта заломлення, при якому порушуються умови повного внутрішнього віддзеркалення всередині оптичного волокна. Це призводить до того, що частина світлової енергії відводиться крізь бокову поверхню оптичного волокна телекомунікаційної лінії зв'язку. Причому, змінюючи температуру ділянки оптичної телекомунікаційної лінії зв'язку, регулюють рівень відведеного оптичного інформаційного сигналу. Таким чином створюють оптичну неоднорідність у середині оптичного волокна та здійснюють у подальшому ре-

естрацію розсіяного на неоднорідності оптичного інформаційного сигналу.

**Відвід інформації за рахунок зміни характеристик оптичної речовини.** Згідно співвідношення (4) порушення умов повного внутрішнього віддзеркалення (підвищення коефіцієнта заломлення речовини оболонки  $n_2$ ) можливо здійснити за рахунок підвищення характеристик речовини оптичної оболонки  $\epsilon$ ,  $\mu$ . При цьому найбільш придатним є зміна коефіцієнту діелектричної проникливості  $\epsilon$ .

Величини діелектричних проникливостей  $\epsilon$  найбільш поширених речовин для твердих та рідких діелектриків наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Діелектричні проникливості

№ з/п	Назва діелектрика	$\epsilon$
1	Бензол	2,2
2	Трансформаторне масло	2,3
3	Бензин	2
4	Совол	4,5
5	Касторове масло	4,6
6	Ацетон	22
7	Етиловий спирт	33
8	Дистильована вода	81
9	Нітробензол	39
10	Октол	2,2
11	Плавлений кварц	4,5
12	Лужне скло	6,5
13	Органічне скло	4,0
14	Целюлоза	6,5

Так діелектрична проникливість складних діелектриків, яка являє собою механічну суміш двох компонентів із різними діелектричними проникливостями визначається на ґрунті логарифмічного закону зміщення, який у загальному випадку може бути застосовано для розрахунку різних якостей [4].

$$\epsilon_r^\chi = Q_1 \epsilon_{r1}^\chi + Q_2 \epsilon_{r2}^\chi, \quad (7)$$

де  $\chi$  – константа, яка характеризує розподіл компонентів та приймає значення +1, 0, -1.

Так при паралельному включенні компонентів  $\chi = +1$ , при послідовному  $\chi = -1$ , а при хаотичному розподілу намагається наблизитися до 0. Внаслідок чого співвідношення (7) матиме наступний вигляд:

$$\ln \epsilon_r = Q_1 \ln \epsilon_{r1} + Q_2 \ln \epsilon_{r2}, \quad (8)$$

де  $Q_1$ ,  $Q_2$  – об'ємні концентрації відповідно першого та другого компонентів суміші, причому сума об'ємів концентрацій відповідає умові

$$Q_1 + Q_2 = 1;$$

$\epsilon_{r1}$ ,  $\epsilon_{r2}$  – відносні діелектричні проникливості відповідно першого та другого компонентів суміші.

Відносна діелектрична проникливість серцевини оптоволокна в залежності від його матеріалу коливається у межах  $\epsilon_r = 3,8 \dots 16,2$ . Зокрема для кварцового скла вона складає 3,8. Для порушення умов повного внутрішнього віддзеркалення необхідно, щоб відносна діелектрична проникливість оболонки мала змінний коефіцієнт діелектричної проникливості, наприклад від 3 до 20. Це досягається сумішшю відповідних об'ємних концентрацій діелектриків, наприклад етилового спирту ( $\epsilon = 33,0$ ) та октолу ( $\epsilon = 2,0 - 2,2$ ) чи бензолу ( $\epsilon = 2,2$ ) та нітробензолу ( $\epsilon = 35 - 39$ ).

Відповідні концентрації сумішей розраховують, користуючись співвідношенням (8). При цьому рівень відведеної енергії із оптоволокна регулюють зміною коефіцієнтом заломлення його оболонки (загальною величиною відносної діелектричної проникливості речовини оболонки).

У той же час найбільш придатним для практичних речей є використання у якості речовини оболонки води ( $\epsilon = 81,0$ ). Діелектрична проникливість води різко змінюється в залежності від температури. Так при температурах, які близькі до  $0^\circ\text{C}$  лід, як і вода має  $\epsilon = 81,0$ . Однак із пониженням температури  $\epsilon$  швидко падає до 2,85 при температурах  $-40^\circ \dots -60^\circ\text{C}$ . Залежність діелектричної проникливості води (льоду) від температури наведено на рис. 2.

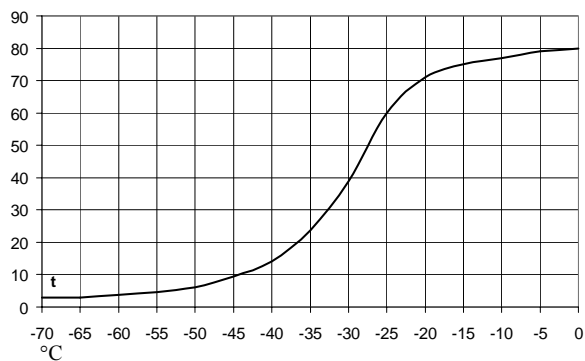


Рис. 2. Залежність діелектричної проникливості льоду від температури

Таким чином охолоджуючи лід, який являє собою оболонку оптоволокна, від  $0^\circ\text{C}$  до  $-60^\circ\text{C}$  змінюється величина діелектричної проникливості оболонки  $\epsilon$  від 81 до 2,85 що змінює рівень відведеної енергії із оптоволокна від 0% до 100%.

## Висновок

Результати аналізу існуючих методів відводу інформації із оптоволокна, показали можливість регулювання рівня відведеної енергії із оптичної лінії зв'язку без механічних ушкоджень основного

оптичного каналу зв'язку за рахунок створення оптичної неоднорідності всередині оптоволокна чи підвищення величини діелектричної проникливості оптичної оболонки  $\epsilon$ .

Обґрунтовано найбільш придатні шляхи їх практичної реалізації.

### Література

1. Яковлев В. Основы оптоволоконной технологии / В. Яковлев // СТА. – 2002. – №4 [Электрон. ресурс]. – Режим доступа к ресурсу: <http://www.cta.ru>.

2. Пат. 2119720 Российская Федерация, С1, МПК7 Н04В 10/12. Способ отвода световой энергии из оптического волокна / С.Н. Ивченко, Б.А. Клопов, В.В. Шубин. – № 2119720; опубл. 1998.09.27.

3. Пат. 2120186 Российская Федерация, С1, МПК7 Н04В 10/12. Способ отвода световой энергии из оптического волокна / С.Н. Ивченко, Б.А. Клопов, В.В. Шубин. – №2120186; опубл. 1998.10.10.

4. Богородицкий Н.П. Электротехнические материалы: Учебник для вузов / Н.П. Богородицкий, В.В. Пасынков, Б.М. Тареев – Л.: Энергоатомиздат, 1985. – 305 с.

Надійшла до редакції 2.02.2009

**Рецензент:** д-р фіз.-мат. наук, проф. І.В. Яковенко, Науково-дослідний та проектно-конструкторський інститут «Молнія», Харків, Україна.

### РАЗРАБОТКА СПОСОБА ОТВОДА ИНФОРМАЦИИ ИЗ ОПТИЧЕСКОЙ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ ЛИНИИ СВЯЗИ

*В.А. Кравец, Н.В. Дженюк, А.А. Серков, М.С. Светайло*

Проведен анализ существующих методов отвода информации из оптических телекоммуникационных линий связи. Предложена сравнительная характеристика этих методов и определены их преимущества и недостатки. Разработаны практические рекомендации о возможности регулирования уровня отведенной энергии из оптической линии связи без механических повреждений основного оптического канала связи. Обоснованы наиболее пригодные пути практической реализации предложенного способа.

**Ключевые слова:** оптическая линия связи, коэффициент преломления, оптическая неоднородность, отражение, скорость распространения

### DEVELOPING A METHOD OF INFORMATION TAPPING FROM OPTICAL TELECOMMUNICATION LINE

*V.A. Kravets, N.V. Dzhenuk, A.A. Serkov, M.S.. Cvetailo*

A comparative analysis of existing methods of information tapping from optical telecommunication lines is provided with discussion of their advantages and disadvantages. Guidelines are suggested for adjustment of tapped-off energy level avoiding physical damage of the principal optical channel. The most suitable ways of practical realization of the offered method are grounded.

**Keywords:** optical communication line, refraction coefficient, optical heterogeneity, reflection, propagation speed.

**Кравец Валерий Алексеевич** – канд. техн. наук, проф., зав. кафедрой «Системы информации», Национальный технический университет «ХПИ», Харьков, Украина, e-mail: vak@kpi.kharkov.ua.

**Дженюк Наталья Владимировна** – ст. преп. кафедры «Системы информации», Национальный технический университет «ХПИ», Харьков, Украина, e-mail: kmd@kpi.kharkov.ua.

**Серков Александр Анатольевич** – д-р техн. наук, проф., проф. кафедры «Системы информации», Национальный технический университет «ХПИ», Харьков, Украина, e-mail: saa@kpi.kharkov.ua.

**Светайло Марина Сергеевна** – студентка факультета компьютерных информационных технологий, Национальный технический университет «ХПИ», Харьков, Украина.