

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
Харьковский национальный университет радиоэлектроники

**ПРОБЛЕМЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ
СОВМЕСТИМОСТИ ПЕРСПЕКТИВНЫХ
БЕСПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ СВЯЗИ
(ЭМС – 2015)**

Сборник научных трудов первой международной
научно-технической конференции

Харьков 27 мая 2015 г.

Харьков 2015

УДК 621.37/.39

Проблемы электромагнитной совместимости перспективных беспроводных сетей связи (ЭМС-2015) : Сборник научных трудов первой международной научно-технической конференции, Харьков 27 мая 2015 г. / М-во образования и науки Украины, Харьковский национальный университет радиоэлектроники. – Харьков: ХНУРЭ, 2015. – 172 с.

В сборник включены научные доклады участников первой Международной научно-технической конференции «Проблемы электромагнитной совместимости перспективных беспроводных сетей связи» (ЭМС-2015).

Издание подготовлено кафедрой телекоммуникационных систем
<http://tcs.kharkov.ua/>

61166, Украина, Харьков, просп. Ленина, 14.
Тел./факс: +380 (57) 702-13-20,
+380 (57) 702-55-92.

E-mail: emc@picst.org
<http://emc-2015-ru.weebly.com/>

© Харьковский национальный
университет радиоэлектроники, 2015

ПРОБЛЕМИ ВИКОРИСТАННЯ ПРИСТРОЇВ НА ФОТОННО-КРИСТАЛІЧНИХ ВОЛОКНАХ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПЕРЕШКОДОЗАХИЩЕНОСТІ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧІ

Филипенко О.І., Сичова О.В.

Харківський національний університет радіоелектроніки
61166, Харків, пр. Леніна, 14, каф. Технології та автоматизації виробництва РЕЗ та ЕОЗ, тел. (057) 702-14-86, E-mail: tapr@kture.kharkov.ua

In this paper the connection problem photonic-crystal fiber with a standard fiber was researched. Photonic-crystal fiber used as dispersion compensators in optical transmission systems, thus increasing the noise immunity.

Застосування високошвидкісних систем передачі дозволяє підвищити ефективність використання обладнання та оптичного волокна (ОВ), знизити вартість каналу зв'язку і задовольнити зростаючі потреби в створенні швидкодіючих мереж доступу і транспортних магістралей. Одним з основних параметрів що характеризують ефективність системи передачі є її перешкодозахищеність. Перешкодозахищеність систем передачі оцінюють за допомогою порога чутливості фотоприймального пристрою, тобто мінімальної середньої потужності на прийомі, при якій в заданій смузі частот зберігається задане відношення сигнал/перешкода. В залежності від порога чутливості вибирається довжина ділянки зв'язку або максимальна швидкість передачі.

При швидкостях передачі 10 Гбіт/с і вище головним фактором обмежуючим швидкість передачі є дисперсія оптичного волокна, яка призводить до розширення імпульсів, та як наслідок, до міжсимвольних перешкод. Фактично має місце проблема хроматичної перешкодозахищеності. Для збільшення довжини ділянки зв'язку або швидкості передачі необхідні пристрої, що компенсують дисперсію волокна. Найбільшого поширення набули такі методи компенсації дисперсії:

- просторова компенсація за допомогою волокна з негативною дисперсією;
- компенсація за допомогою дискретних раманівських підсилювачів;
- компенсація дисперсії на модах вищого порядку;
- інверсія спектра в середині лінії (звернення хвильового фронту);
- динамічна компенсація за допомогою керуючої електроніки;
- компенсуючі пристрої на основі бреггівських решітки або інтерферометра.

Але вже зараз знаходять своє використання компенсатори дисперсії, виконані на основі фотонно-кристалічного волокна (ФКВ). Це сучасний метод компенсації, який має свої безперечні переваги.

Дисперсійні властивості фотонно-кристалічних волокон залежать від розмірів повітряних каналів та їх взаємного розташування. Ці волокна можуть мати аномальну дисперсію в значно більш короткохвильовій області спектра, ніж звичайні волоконні світловоди, майже до довжин хвиль $\lambda \leq 0,8$ мкм. Абсолютна величина дисперсії в фотонно-кристалічних волокнах може на порядок перевищувати значення дисперсії в стандартних одномодових волокнах та досягати 2000 пс/(нм·км), а залежність дисперсії від довжини хвилі в широкому спектральному діапазоні може бути дуже слабкою. Стандартне одномодове волокно має нульову дисперсію на довжині хвилі 1310 нм. Таким чином, в області використання DWDM-систем воно має значний рівень дисперсії. Для ефективної передачі даних при сучасних швидкостях передачі та кількості каналів від 40 до 80 і більше, в частотному інтервалі DWDM необхідно ретельно керувати ефектом хроматичної дисперсії. Для цього перспективним є використання блоків компенсації дисперсії, побудованих на основі ФКВ. Вже зараз отримано ФКВ з великою негативною дисперсією і підвищеною нелінійністю, що визначає ефективність їх застосування в компенсуючих пристроях. Необхідна довжина такого фотонно-кристалічного волокна при тому ж коефіцієнті посилення більш ніж на порядок менше, ніж стандартного кварцового оптичного волокна.

В ФКВ дисперсію можна визначити як [1]:

$$D = -\frac{\lambda}{c} \cdot \frac{d^2 n_{\text{eff}}}{d\lambda^2}, \quad (1)$$

де c – швидкість світла в вакуумі;

n_{eff} – ефективний показник заломлення ФКВ;

λ – довжина хвилі.

На рис. 1 представлена хроматична дисперсія для трьох ФКВ з однаковими радіусом сердеччини – 40 мкм і кроком між отворами в оболонці – 10 мкм, та різними діаметрами повітряних отворів d – 1 мкм, 2 мкм і 5 мкм. Можна побачити, що при зміні діаметра отворів на 1 мкм дисперсія змінюється приблизно до 10 пс/(нм·км).

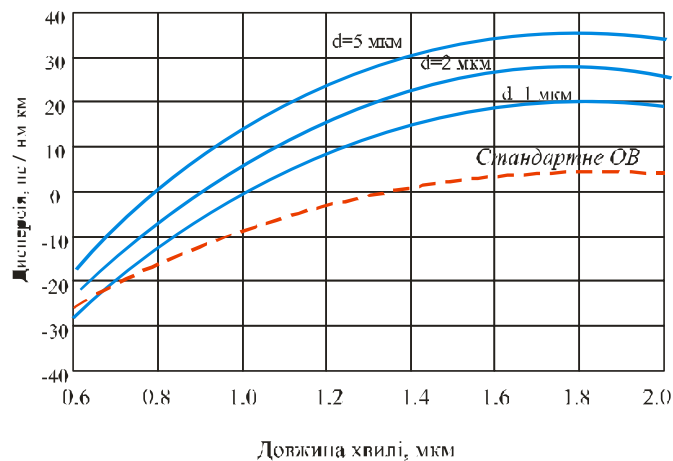


Рисунок 1 – Хроматична дисперсія для ФКВ з різними розмірами отворів та з шагом їх розташування рівним 10 мкм

Незважаючи на очевидні переваги компенсаторів дисперсії на ФКВ є деякі труднощі для їх широкого застосування. Однією з основних проблем є складність виконання якісного з'єднання та узгодження ФКВ зі стандартним оптичним волокном. Якщо з'єднуються два ідентичних волокна з однаковим розподілом модового поля, коефіцієнт передачі в ідеальному випадку буде дорівнювати одиниці, а втрати, відповідно, нулю. Однак на практиці такі значення не досяжні внаслідок різних факторів, які впливають на якість з'єднання. Найсуттєвішими по внесеним втратам можна виділити поперечне, кутове та подовжнє зміщення [2]. Щоб з'ясувати яким чином впливають зазначені фактори на якість передачі сигналу у випадку з'єднання пристроїв на ФКВ зі стандартним ОВ було проведено моделювання та виконано розрахунки. В табл. 1 наведено характеристики використаних в моделюванні оптичних волокон. Отримані в результаті моделювання зображення поперечних перетинів волокон та їх розподіли модових полів представлено на рис. 2 та рис. 3.

Таблиця 1 - Характеристики оптичних волокон

Тип волокна	Діаметр сердцевини, мкм	Діаметр отворів в оболонці ФКВ, мкм	Відстань між отворами, мкм	Показник заломлення оболонки	Показник заломлення сердцевини	Радіус модового поля, мкм
PCF-10 (рис. 2)	10	2,142	7,14	1,46	-	23
SMF (рис. 3)	10	-	-	1,4378	1,4457	12,5

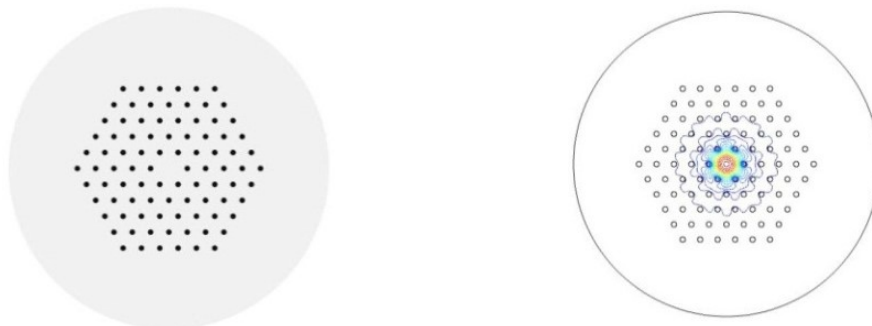


Рисунок 2 – Структура ФКВ з діаметром сердцевини 10 мкм та отриманий розподіл поля основної моди на довжині хвилі $\lambda = 1.55 \mu\text{m}$



Рисунок 3 – Одномодове ОВ з радіусом серцевини $r = 5 \mu\text{м}$ та розподіл поля основної моди на довжині хвилі $\lambda = 1,55 \mu\text{м}$

Втрати при поперечному зсуві волокон визначалися за формулою [3]:

$$\alpha_t = -10 \lg \left(\frac{4w_1^2 w_2^2}{(w_1^2 + w_2^2)^2} \exp \left(-\frac{2r_d^2}{w_1^2 + w_2^2} \right) \right), \quad (2)$$

де $r_d = (d_x^2 + d_y^2)^{1/2}$ - поперечне зміщення двох волокон;

w_1, w_2 - їх радіуси модових полів.

Втрати при подовжньому зміщенні волокон розраховувалися таким чином:

$$\alpha_l = -10 \lg \left(\frac{4w_1^2 w_2^2}{\frac{l^2}{k_0^2} + (w_1^2 + w_2^2)^2} \right), \quad (3)$$

де l - подовжнє зміщення волокон;

$$k_0 = \frac{2\pi}{\lambda}.$$

Втрати при кутовому зміщенні визначалися за формулою:

$$\alpha_\theta = -10 \lg \left(\frac{4w_1^2 w_2^2}{(w_1^2 + w_2^2)^2} \exp \left(-\frac{k^2 \theta^2 w_1^2 w_2^2}{2(w_1^2 + w_2^2)} \right) \right), \quad (4)$$

де θ - кутове зміщення волокон.

Результати розрахунків втрат сигналу для різних значень зсувів представлено в табл. 2

Таблиця 2 – Величина втрат оптичного сигналу на стику ФКВ та стандартного ОВ при різних значеннях зсуву

Тип з'єднання	r_d , мкм	α_t , дБ	l , мкм	α_l , дБ	θ , град.	α_θ , дБ
PCF-10/SMF	0.5	3.516	0.5	3.508	0.2	3.513
	2.5	3.691	2.5	3.508	0.6	3.551
	4.5	4.099	4.5	3.508	0.8	3.585

Таким чином, навіть при малих значеннях зсувів втрати сигналу у місцях з'єднання пристроїв на основі ФКВ з ОВ залишаються досить великими порівняно зі втратами на стику двох звичайних оптичних волокон, які в сучасних системах передачі не перевищують 0,5 дБ. Велике значення втрат в цьому випадку обумовлюється не тільки геометричною розузгодженістю волокон, а також різницею їх модових полів.

ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОК

1. Zhu, Yanjie. Application of a 2D-CFDTD Algorithm to the Analysis of Photonic Crystal Fibers (PCFs) [Текст] / Y. Zhu, Y. Chen, P. Huray, X. Dong // Proceedings IEEE SoutheastCon. – 2002. – pp. 215-219.
2. Filipenko, A.I. Research of misalignments and cross-sectional structure influence on optical loss in photonic crystal fibers [Текст] / A.I. Filipenko, O.V. Sychova // Proceedings of the International Conference on Advanced Optoelectronics and Lasers, CAOL. – 2013. – art. no. 6657536. – pp. 85-87.
3. Kliros, G.S. Prediction of Macrobending and splice losses for photonic crystal fibers based on the effective index method [Текст] / G.S. Kliros, J. Konstantinidis, C. Thraskias. // Wseas transactions on communications. – 2006. – Vol.5, Issue 8. – pp.1314-1321.