

УДК 623.004.67

В.О. Водолажко, С.О. Кондратенко

Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

АНАЛІЗ МЕТОДІВ КОМПЕНСАЦІЇ ДИСПЕРСІЇ ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИХ ЛІНІЙ ЗВ'ЯЗКУ

Аналізуються принципи компенсації дисперсії, що заснований на керуванні просторовим розподілом дисперсії волоконно-оптичної лінії зв'язку.

Ключові слова: дисперсія, розподіл, волокно, спектр.

Вступ

Постановка задачі. Швидкість поширення хвилі залежить не тільки від частоти, але й від середовища поширення. Для пояснення цього явища електрони усередині атомів і молекул розглядаються в теорії дисперсії квазіпружно зв'язаними. При проходженні через речовину світлової хвилі кожний електрон виявляється під впливом електричної сили й починає робити змушені коливання. Коливні електрони збуджують вторинні хвилі, що поширюються зі швидкістю яка, складаючись із первинної, утворює результуючу хвилю. Що наприкінці призводить до зміни параметрів волоконно-оптичних ліній зв'язку та потребує компенсації. Тому дослідження цього впливу є актуальною науково-прикладною задачею.

Аналіз літератури В відомій літературі [1 – 4] розглядається світловий сигнал у цифрових системах передачі, які надходять у світловод імпульсами, як внаслідок некогерентності реальних джерел випромінювання, що містять складові з різною частотою. Нажаль в цієї літературі не розглядаються питання компенсації різних видів дисперсії світлового сигналу.

Метою статті є дослідження принципів керування просторовим розподілом дисперсії волоконно-оптичної лінії зв'язку для забезпечення нульового сумарного значення дисперсії для всієї лінії.

Основний матеріал

Світловий сигнал у цифрових системах передачі надходить у світловод імпульсами, які внаслідок некогерентності реальних джерел випромінювання містять складові із різною частотою. Розширення світлового імпульсу, викликане відмінністю часу поширення його спектральних і поляризаційних компонент та має назву дисперсії.

Світлова хвиля, що поширюється уздовж напрямку x , описується рівнянням:

$$\xi(x, t) = A \cdot \cos(\omega \cdot t - kx), \quad (1)$$

де A – амплітуда світлової хвилі; ω – її кутова частота; k – хвильове число.

Якщо фіксоване значення фази хвилі:

$$\omega \cdot t - k \cdot x = \text{const}, \quad (2)$$

де швидкість переміщення фази в просторі або фазова швидкість, буде:

$$v = \omega / k. \quad (3)$$

Світловий імпульс, що поширюється в оптичному волокну (ОВ) являє собою суперпозицію електромагнітних хвиль із частотами, укладеними в інтервалі $\Delta\omega$, що має назву групи хвиль (1).

У момент часу t у різних точках для різних x хвилі будуть підсилювати один одного, що приводить до появи максимуму інтенсивності групи хвиль (центр групи хвиль), або послаблення.

Центр групи хвиль переміщається зі швидкістю:

$$u = \frac{d\omega}{dk}. \quad (4)$$

Здійснивши заміну $k = 2\pi/\lambda$ у виразі (3), одержимо співвідношення, що виражає залежність групової швидкості від довжини хвилі:

$$u = v - \lambda \frac{dv}{d\lambda}. \quad (5)$$

Це і є причиною, яка приводить до відмінності швидкостей поширення частотних складових випромінюваного спектру по оптичному волокну.

За результатом по мірі поширення по оптичному волокну частотні складові досягають приймача в різний час. Внаслідок цього імпульсний сигнал на виході об'єкту вимірювання видозмінюється, стає «розмитим».

Це явище має назву хвильової дисперсії, що обумовлена показником переломлення оптичного волокна й шириною спектру випромінювання джерела $\Delta\lambda$, яка має розмірність часу [4].

Запропонована й досліджена певна кількість способів компенсації дисперсії. Їх можна розділити на наступні три класи [4]:

– способи компенсації дисперсії, засновані на управлінні просторовим розподілом дисперсії волоконно-оптичної лінії зв'язку (ВОЛЗ) для забезпечення нульового сумарного (інтегрованого) значення дисперсії щодо усієї лінії;

– способи компенсації дисперсії, засновані на управлінні передавачем або приймачем випромінювання;

– способи компенсації дисперсії, що використовують нелінійні оптичні ефекти для керування просторово-часовими характеристиками світлового імпульсу.

Принцип компенсації дисперсії, якій заснований на управлінні просторовим розподілом дисперсії волоконно-оптичної лінії зв'язку, полягає в тому, що у ВОЛЗ між ділянками телекомунікаційного волокна встановлюються пристрої, дисперсія яких дорівнюється за величиною й протилежна за знаком дисперсії попередньої ділянки телекомунікаційного ОК. Можна розглядати хроматичну дисперсію як фазове зрушення між різними довжинами хвиль сигналу. У волокні, що компенсує, фазове зрушення постійне, що припускає тільки статичний метод компенсації.

В ідеальному випадку фазовий зрушення спектральних компонентів повністю компенсується в пристрої - компенсаторі хроматичної дисперсії.

Цей принцип пояснює рис. 1.

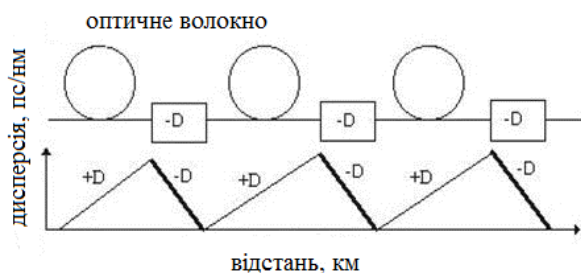


Рис. 1. Застосування пристрою компенсації дисперсії

Більшість типів телекомунікаційного волокна в робочій області спектру має позитивну дисперсію, тому для їх компенсації використовуються пристрої з негативною дисперсією.

Найпоширенішими пристроями для компенсації дисперсії ВОЛЗ є:

- відрізки волокна, що компенсує дисперсію (DCF);
- пристрої на основі береговських дифракційних ґрат
- з мінливим періодом ґрат;
- інтерферометричні пристрої.

Клас пристроїв, які заснованих на управлінні просторовим розподілом дисперсії, волоконно-оптичної лінії зв'язку для забезпечення нульового сумарного значення дисперсії для всієї лінії, є найбільш зручним і знаходить найбільше практичне застосування. До другого класу ставляться пристрої, що використовують або модуляцію переданого сигналу, або спеціальну обробку сигналів на фотоприймачі для відновлення інформації. Найбільше

широко в цьому класі застосовуються пристрої компенсації дисперсії, засновані на внесенні лінійної частотної модуляції переданого сигналу, знак якої протилежний модуляції, що виникає в ОБ.

До класу нелінійно-оптичних методів компенсації хроматичної дисперсії ставиться інверсія спектру світлових сигналів у середині лінії зв'язку. Принцип роботи інверторів спектру заснований на явищі обігу хвильового фронту (ОХФ), яке полягає в перетворенні однієї хвилі в іншу з ідентичним розподілом амплітуди й фази й із протилежним напрямком поширення. ОХФ одержують методом чотирьоххвильового змішання [2]. У цьому методі в нелінійній середовищі інтерферують чотири світлові пучки.

Три з них подаються ззовні: об'єктний пучок, який потрібно звернути, і дві опорні хвилі. Опорні пучки, що поширюються назустріч один одному, мають звичайно плоский хвильовий фронт і однаковою частоту, ту ж, що й об'єктний пучок. Об'єктний пучок може направлятися в середовище з будь-якого напрямку.

Четвертий – пучок, що генерується, обернений стосовно об'єктного.

У результаті проходження пристрою інверсії імпульс зберігає свою форму, але передній фронт стає довгохвильовим, а задній фронт – короткохвильовим. Інвертор устатковується в середині лінії зв'язку, тому через дисперсію в другий половині лінії відновлюється первісна форма оптичного імпульсу.

Оптичне волокно з компенсацією дисперсії є основним компонентом при статичним придушенні хроматичної дисперсії. Його негативна хроматична дисперсія в кілька раз перевищує позитивну хроматичну дисперсію одномодового волокна. Додавання ділянки волокна з компенсацією дисперсії певної довжини компенсує дисперсію лінії передачі, обертаючи її в нуль. Негативна дисперсія, як правило, забезпечується зменшенням діаметра серцевини й слабким хвильовим поширенням. На жаль, недоліком таких волокон зі слабким каналуванням світла є збільшення загасання й втрат на вигини. Один з недоліків використання волокна DCF для компенсації дисперсії полягає у хвильовій залежності хроматичної дисперсії $D(\lambda)$. У лінійному наближенні ця залежність описує параметр S – нахил дисперсійної кривої. Компенсація дисперсії, наприклад, статичним методом на одній довжині хвилі приведе до неточної компенсації на інших довжинах хвиль у системах DWDM. Для кількісного порівняння якості компенсації дисперсії часто використовують поняття добротності волокна, що компенсує. Добротністю волокна, що компенсує, називається відношення абсолютного значення дисперсії, вираженого в пс/нм/км до загасання, вираженого в дБ/км. Доброт-

ність не єдиний показник якості, що компенсує дисперсію волокна. Необхідно враховувати, зокрема, наскільки висока чутливість до втрат на вигинах. Тому, при використанні значення добротності для порівняння різних видів оптичних волокон потрібно прагнути до того, щоб вимірювати добротність у тих умовах, у яких ОВ буде реально працювати. Оптичні волокна DCF з високим показником добротності використовуються як додаткові елементи лінії зв'язку, вони збільшують втрати в лінії, приблизно, на 30%. Так, для прольоту довжиною 300 км може знадобитися близько 50 км волокна з компенсацією дисперсії, при цьому додаткові втрати потужності складуть 18 дБ.

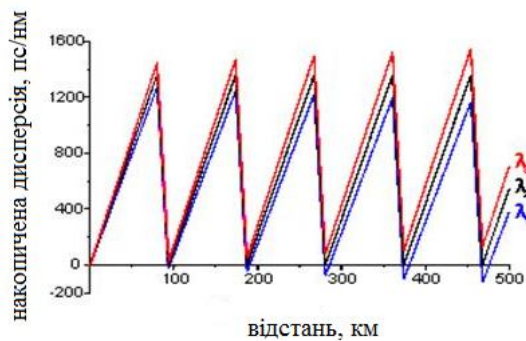


Рис. 2. Поведінка накопиченої дисперсії в лінії (період 80 км SMF + DCF) з компенсацією дисперсії для однієї довжини хвилі

Для компенсації дисперсії застосовується також новий тип оптичного волокна, названого оптичним волокном зі зворотною дисперсією (RDF). Волокно RDF має коефіцієнт дисперсії, який приблизно дорівнює по величині та є протилежним по знаку, що відповідає параметру стандартного одномодового волокна.

Обмірюване значення втрат на вигин в RDF волокні виявилось менше, чим в стандартному ОВ. Це дозволяє виготовляти оптичні кабелі з RDF волокном. Кабель на основі RDF волокна з'єднується з ОК на основі стандартного ОВ приблизно тієї ж довжини. Дисперсійний коефіцієнт такого з'єднання не перевищує $\pm 0,5$ пс/нм/км у смузі довжин хвиль

1530 нм – 1564 нм. Оскільки загасання RDF волокна 0,25 дБ/км при загасанні стандартного волокна 0,2 дБ/км, середнє загасання в лінії рівно 0,225 дБ/км. Ще однією перевагою RDF волокна є менша в порівнянні з DCF нелінійність.

Розглянуті вище різні типи, що компенсують дисперсію волокон дозволяють досить добре компенсувати дисперсію й нахил дисперсійної залежності стандартного оптичного волокна (SMF).

У цей час у більшості модулів компенсації дисперсії використовується DC волокно, тому що такі модулі не споживають потужність, мають малу вартість і зручні в застосуванні (звичайно розміщається на виході оптичного підсилювача).

Висновки

1. При взаємодії електромагнітної хвилі зі зв'язаними електронами відгук середовища залежить від частоти світлового імпульсу, що й визначає залежність показника заломлення від довжини хвилі, яка характеризує дисперсійні властивості оптичних матеріалів:

2. Результируюча дисперсія складається з хвильової і матеріальної й називається хроматичною дисперсією, що характеризується коефіцієнтом дисперсії або питомою дисперсією.

Список літератури

1. Волоконно-оптические датчики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.physics.nad.ru/rusensor.htm.
2. Сайт itc.ua <http://itc.ua/node/3422>. – Режим доступа: itc.ua/node/3422.
3. Листвин А.В. Оптические волокна для линий связи / А.В. Листвин, В.Н. Листвин, Д.В. Швырков. – М.: ЛЕСАРТ, 2003. – 288 с.
4. Иванов А.Б. Волоконная оптика: компоненты, системы передачи, измерения / А.Б. Иванов. – М.: САЙРУС СИСТЕМС, 1999. – 671 с.

Надійшла до редколегії 22.10.2014

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.Б. Кононов, Харківський університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба, Харків.

АНАЛИЗ МЕТОДОВ КОМПЕНСАЦИИ ДИСПЕРСИИ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ СВЯЗИ

О.В. Водолажко, С.О. Кондратенко

Анализируются принципы компенсации дисперсии, основанные на управлении пространственным распределением дисперсии волоконно-оптических линий связи.

Ключевые слова: дисперсия, распределение, волокно, спектр.

ANALYSIS METHODS DISPERSION COMPENSATION FIBER-OPTIC COMMUNICATION LINES

O.V. Vodolahcko, S.O. Kondratenko

The principles of dispersion compensation based on spatial distribution of the dispersion-tion fiber-optic communication lines.

Keywords: dispersion, distributing, fibre, spectrum.