

УДК 621.372

Є.М. Чернихівський, М.М. Климаш
Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра телекомунікацій

ДОСЛІДЖЕННЯ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНОЇ ГРУПОВОЇ ЗАТРИМКИ ОПТИЧНОГО ВОЛОКНА І РОЗРОБКА СХЕМИ МІНІМІЗАЦІЇ ПОЛЯРИЗАЦІЙНО-МОДОВОЇ ДИСПЕРСІЇ

© Чернихівський Є.М., Климаш М.М., 2006

Проведено дослідження диференціальної групової затримки системи з спектральним ущільненням каналів, запропоновано метод мінімізації поляризаційно-модової дисперсії і проведено дослідження ефективності використання запропонованого методу.

The investigation of differential group delay of system with wavelength-division multiplexing was conducted, the method of minimization of polarization mode dispersion system was proposed and the research of efficiency for proposed method is conducted.

Вступ

В сучасних оптичних транспортних мережах широко використовуються різновиди систем передавання з спектральним ущільненням каналів (WDM). За збільшення швидкості передачі на одній несучій до 10 Гбіт/с і більше вирішальним обмежувальним чинником є поляризаційна модова дисперсія (ПМД). Сьогодні ведуться інтенсивні роботи над створенням компенсаторів ПМД, хоча випадкова зміна ПМД робить процес компенсації доволі складним – компенсатор повинен динамічно реагувати на зміну ПМД. Кожна із запропонованих схем компенсації має як переваги, так і недоліки. У цій роботі розглянуто метод мінімізації ПМД.

1. Дослідження диференціальної групової затримки системи DWDM

Структурну схему волоконно-оптичної системи передавання інформації (ВОСПІ) з спектральним ущільненням каналів зображено на рис. 1.

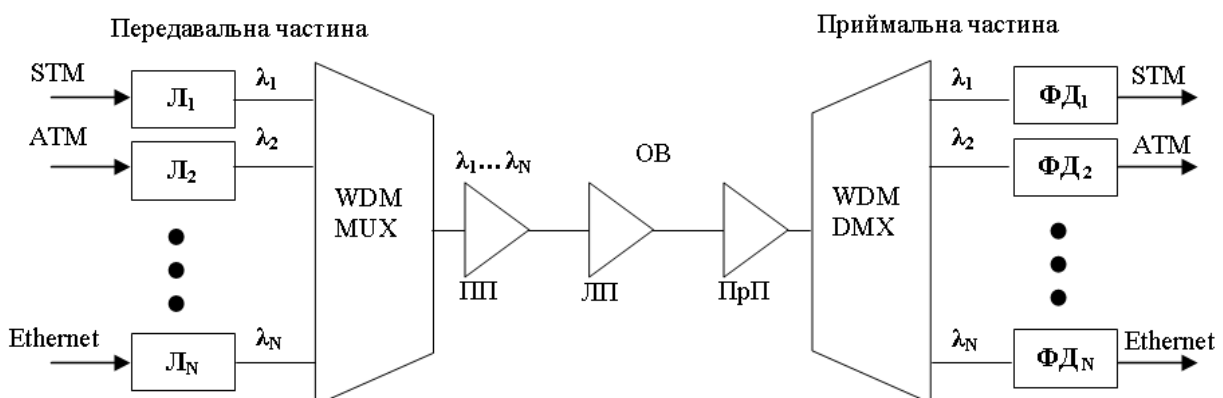


Рис. 1. Система з спектральним ущільненням каналів (DWDM)

У схемі використовуються такі компоненти: Л – одномодовий лазер; ПП – підсилювач потужності; ЛП – лінійний підсилювач (як правило, EDFA); ПрП – попередній підсилювач

потужності; ФД – фотодетектор; ОВ – оптичне волокно; WDM MUX – мультиплексор спектрального ущільнення; WDM DMX – демультиплексор спектрального ущільнення; STM, ATM, Ethernet – можливі види трафіку.

Оптичне волокно – це сукупність двозаломлюючих сегментів з випадковими затримками і азимутами сумарною довжиною $L=71$ км. Еліпс поляризації вхідного випромінювання лазера однаковий для всіх N вхідних спектральних каналів. Залежність диференціальної групової затримки (ДГЗ) від довжини хвилі оптичної несучої (номера спектрального каналу) для заданого оптичного волокна показано на рис. 3. Оптичне волокно великої довжини, що складається з великої кількості двозаломлюючих сегментів по-різному модифікує вхідне світлове випромінювання різних довжин хвиль, що і приводить до виникнення різних значень ДГЗ.

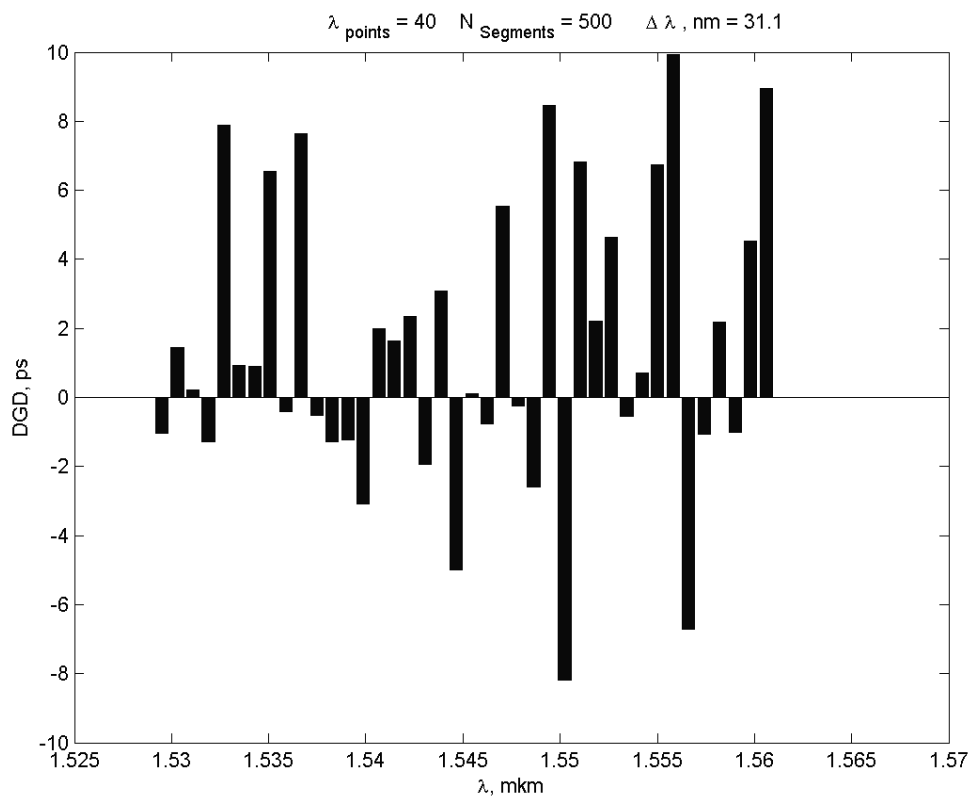


Рис. 2. Залежність ДГЗ від довжини хвилі

Для різних оптичних несучих значення диференціальної групової затримки також відрізняється в широких межах (рис. 2). Максимальне значення ДГЗ в масиві 10 пс, мінімальне – 8,2 пс (знак тут визначається з випередження вертикальною поляризаційною складовою горизонтальної складової – різниця між часом поширення вертикальної і горизонтальної складової). Мінімальне значення модуля ДГЗ становить 0,11 пс за середнього значення модуля ДГЗ – 3,31 пс. Така істотна різниця ДГЗ для різних довжин хвиль оптичної несучої робить неможливим використання єдиного ширококутового компенсатора поляризаційно-модової дисперсії, а вимагає реалізації компенсаторів для кожного окремого спектрального каналу.

2. Схема мінімізації ПМД

Після проведених досліджень залежності ДГЗ від еліпса поляризації вхідного випромінювання для оптичного волокна будь-якої довжини, що складається з N сегментів, існує такий вхідний стан еліпса поляризації, для якого ДГЗ є максимальним, так і такий стан, для якого модуль ДГЗ є мінімальним (як правило, існує такий стан, для якого ДГЗ є близьким до нуля). Але для різних довжин хвиль оптичної несучої цей вхідний еліпс поляризації також буде різним, тому для кожного спектрального каналу його потрібно визначати окремо.

Схема волоконно-оптичної системи передавання інформації з спектральним ущільненням каналів і мінімізацією поляризаційної модової дисперсії з використанням зворотного каналу і вибору найкращого еліпса поляризації вхідного випромінювання показано на рис. 3.

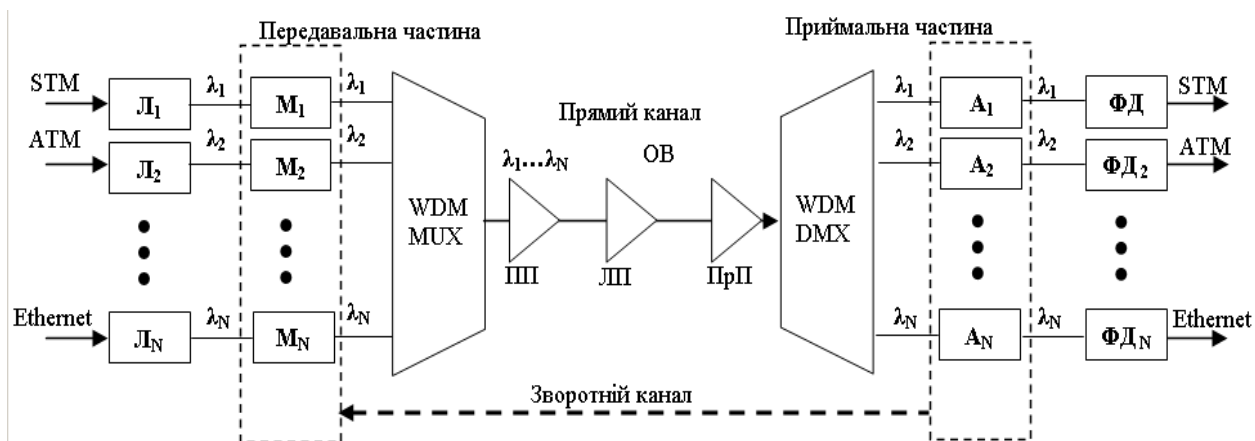


Рис. 3. Схема ВОСП з мінімізацією ПМД

Умовні позначення на схемі: М – модулятор, пристрій, що використовується для зміни еліпса поляризації вхідного випромінювання; А – аналізатор, пристрій, що використовується для визначення ДГЗ і для курування модулятором через зворотний канал.

Алгоритм роботи схеми мінімізації ПМД: одномодовий лазер Л випромінює лінійно-поляризоване світло, причому може використовуватись як лазер з внутрішньою модуляцією інтенсивності, так і передавальний оптичний модуль з зовнішнім модулятором. Лінійно-поляризоване випромінювання потрапляє на модулятор М, далі сигнали всіх спектральних каналів потрапляють на оптичний WDM-мультиплексор, на виході якого під'єднано широкопasmовий підсилювач потужності, після якого груповий сигнал N спектральних каналів потрапляє в оптичне волокно. За рахунок впливу статичних і динамічних чинників, що викликають анізотропію сердцевини оптичного волокна, ОВ стає сукупністю двозаломлюючих сегментів з випадковими затримками і азимутами, що і викликає виникнення ДГЗ.

Схема системи передавання, показана на рис. 2, дає змогу оперативно реагувати на зміну ДГЗ. Як модулятор використовується кристал, що проявляє електрооптичні властивості. Під дією керуючої напруги кристал проявляє двозаломлення, причому різниця показника заломлення швидкої і повільної осей залежить від величини прикладеної напруги. Для схеми мінімізації ПМД потрібно, щоб модулятор давав можливість реалізувати різницю часу поширення швидкої і повільної складових в межах від 0 до $2\pi \cdot \omega$, де ω – кутова частота оптичного сигналу. Зрозуміло, що для різної довжини хвилі оптичної несучої буде і різне значення прикладеної напруги для отримання однакової різниці ходу (наприклад π).

Аналізатор на виході ОВ визначає ДГЗ, яка виникає у цей момент. Якщо значення ДГЗ перевищує максимально допустиме значення, по зворотному каналу передається сигнал на зміну вхідного еліпса поляризації. На модулятор в покроковому режимі подаються фіксовані значення напруги, а на виході і далі визначається миттєве значення ДГЗ. Після проходження одного кола вимірювань (зміна різниці ходу кристала від нуля до 2π) на модуляторі встановлюється таке значення напруги, за якого ДГЗ на виході волокна приймало мінімальне значення, і цей вхідний стан поляризації зберігається до того моменту, поки значення ДГЗ знову не перевищить допустиме максимальне значення. Такий алгоритм мінімізації використовується для кожного спектрального каналу окремо, незалежно один від одного.

Мінімізацію поляризаційної модової дисперсії і моделювання роботи ВОСП ми розглянемо на прикладі одного спектрального каналу (для всіх інших процес відбувається аналогічно, тому немає необхідності акцентувати увагу конкретно на кожному каналі).

На рис. 3 показано залежність ДГЗ від еліпса поляризації вхідного випромінювання, де по осі абсцис відкладено різницю між швидкою і повільною осями двозаломлюючого електрооптичного кристала, а по осі ординат – значення диференціальної групової затримки, що виникає після поширення через оптичне волокно.

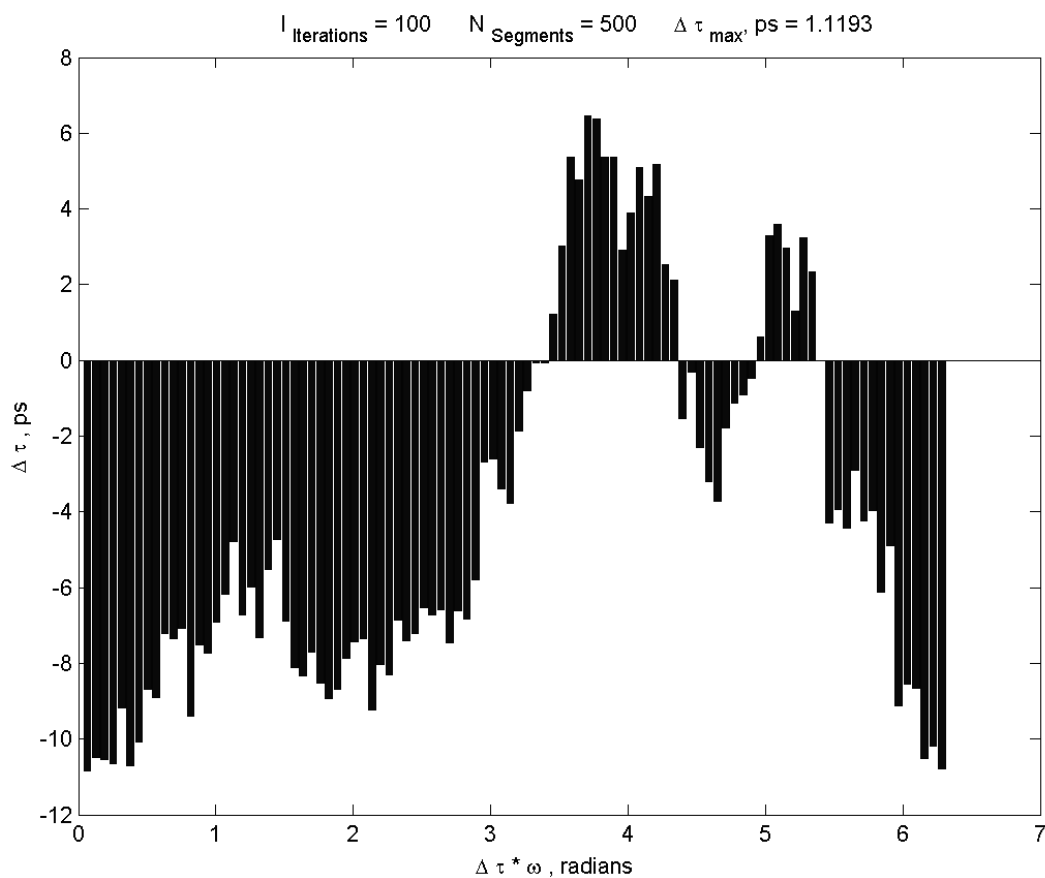


Рис. 3. Залежність ДГЗ від вектора вхідного випромінювання

Як зрозуміло з результатів, показаних на рис. 3, максимальне значення модуля ДГЗ становить 10,84 пс, а мінімальне значення модуля ДГЗ – 0,0012 пс. Отже, після проведення кола вимірювань для 100 значень вхідного еліпса поляризації ми отримаємо мінімальне значення ДГЗ 0,0012 пс. Також ми бачимо, що на рисунку спостерігається деяка періодичність, існує декілька максимумів і декілька мінімумів, тому 100 значень еліпса поляризації вхідного випромінювання для заданої довжини волокна (71 км) забагато.

На рис. 5 показано значення ДГЗ для 20 еліпсів поляризації вхідного сигналу. Максимальне значення модуля ДГЗ становить 10.37 пікосекунд, а мінімальне значення 0.019 пс, яке і буде вибрано аналізатором.

Отримані результати моделювання показують, що навіть за зміни 10 значень еліпса поляризації вхідного випромінювання, ми можемо мінімізувати значення диференціальної групової затримки оптичного волокна і в такий спосіб уникнути перевищення допустимого значення коефіцієнта помилок внаслідок зростання ДГЗ.

Швидкість проведення одного кола вимірювань не є критичною. Сучасні аналізатори ДГЗ дають змогу визначати часову різницю поширення двох ортогональних компонент із швидкістю порядку 100 вимірювань на секунду, а динаміка зміни ДГЗ для протяжних волоконно-оптичних ліній зв'язку є набагато меншою (порядку однієї зміни на півгодини).

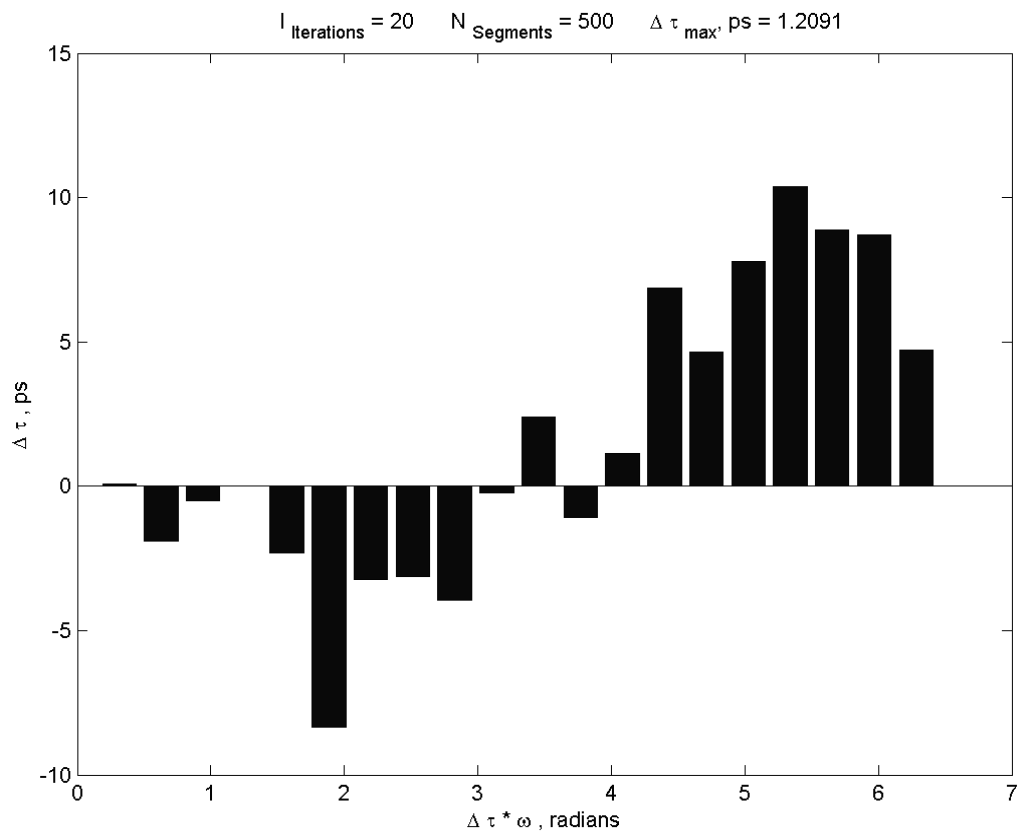


Рис. 5. Розподіл залежності ДГЗ від вектора вхідного випромінювання для 20 значень

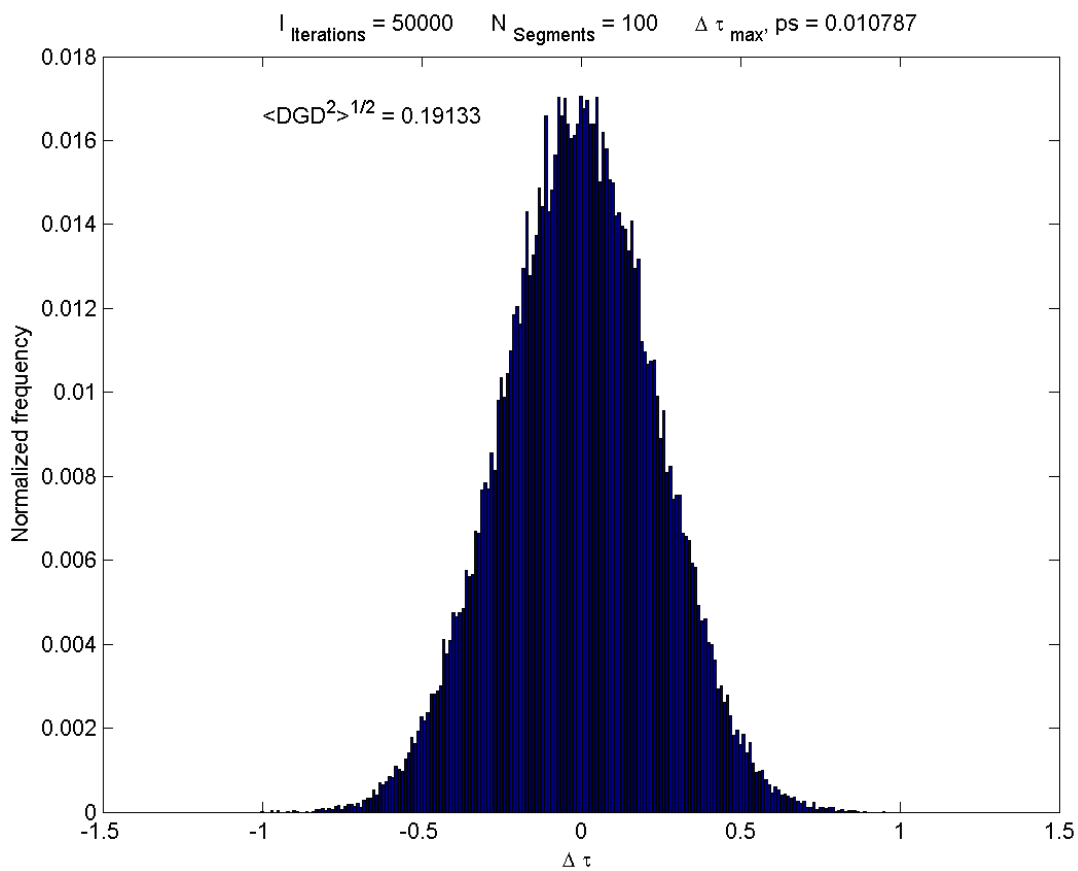


Рис. 6. Розподіл диференціальної групової затримки ОВ

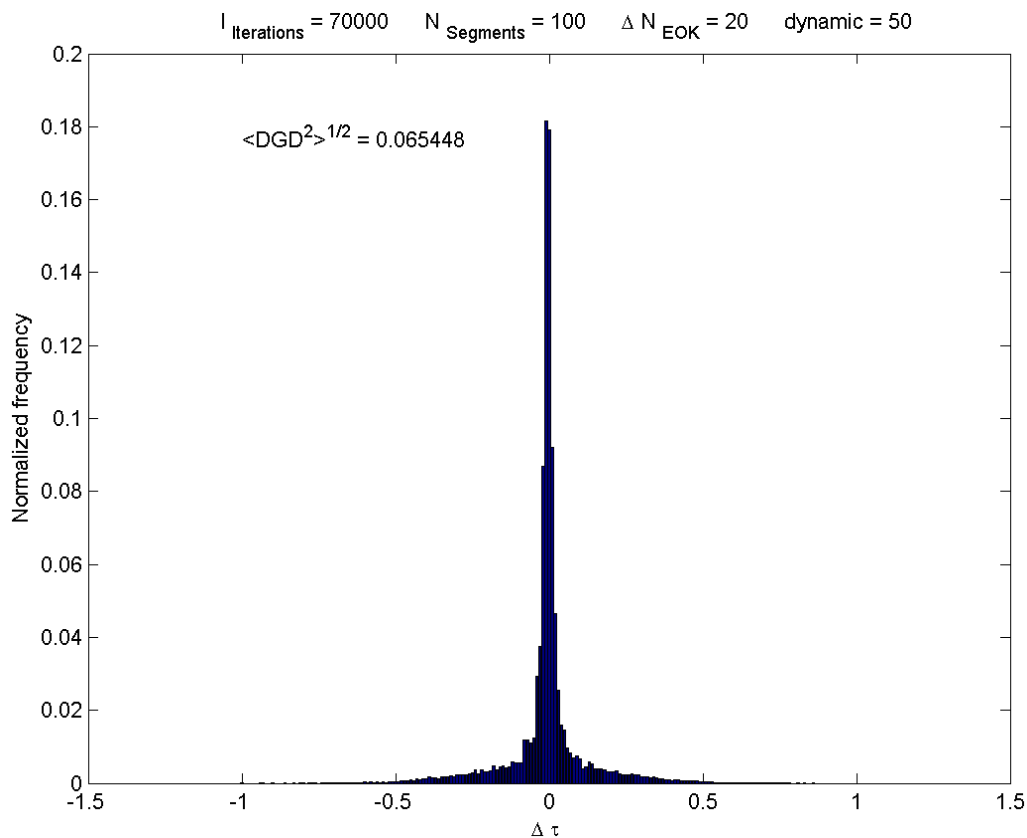


Рис. 7. Розподіл ДГЗ; динаміка дорівнює 50

Перевагою такої схеми мінімізації є те, що вона не вимагає якихось додаткових пристроїв компенсації ПМД, а недоліком є використання зворотного каналу.

Залежність ефективності використання схеми мінімізації від динаміки зміни сегментів оптичного волокна. Динаміка зміни оптичного волокна – це середній час, протягом якого волокно залишається незмінним. Якщо характеристики (затримка чи азимут) хоча б одного двозаломлюючого сегмента ОВ змінилися, то ми вважатимемо, що змінилося все волокно.

За нормованим значенням ПМД ми визначимо ефективність використання запропонованого методу мінімізації ПМД. Результати порівняння занесено в табл. 1 і показано на рис. 8.

Таблиця 1

Залежність ефективності використання методу мінімізації від динаміки зміни оптичного волокна

Динаміка зміни ОВ	1	2	5	10	50	100	200	500	10 ³
Нормована ПМД	0.19	0.17	0.17	0.13	0.07	0.05	0.04	0.03	0.03
Ефективність методу	1,00	1,11	1,18	1,47	2,98	3,88	5,11	7,46	7,76

Як зрозуміло з отриманих результатів, чим менша швидкість зміни параметрів оптичного волокна, тим вища ефективність використання запропонованого методу мінімізації ПМД.

Також можна зробити висновок, що за динаміки 500 і більше ефективність мінімізації ПМД не змінюється. Цей результат пояснюється тим, що зустрічаються як великі значення ДГЗ під час звичайної експлуатації оптичного волокна, так і тим, що мінімальне значення ДГЗ не є нульовим. Ефективність використання методу мінімізації залежить також від кількості вхідних еліпсів поляризації.

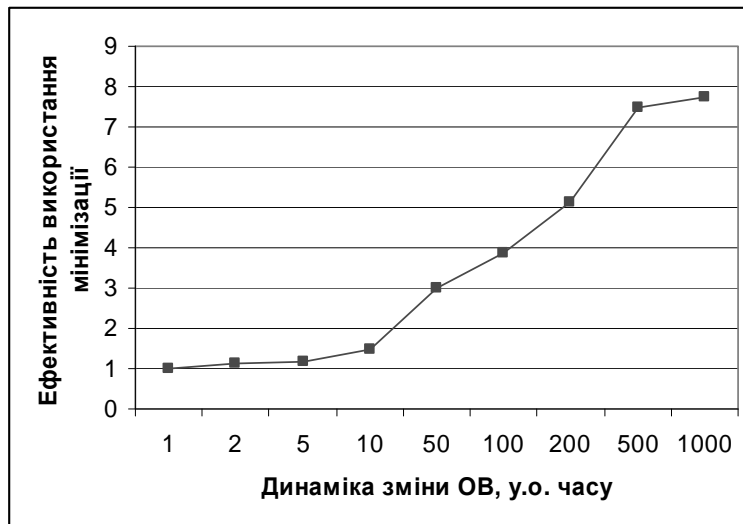


Рис. 8. Залежність ефективності методу мінімізації ПМД від динаміки зміни оптичного волокна

Ефективність методу мінімізації для різної кількості вхідних сигналів (за динаміки 100) наведено в табл. 2 і показано на рис. 9.

Таблиця 2

Залежність ефективності методу мінімізації від кількості вхідних сигналів

Кількість вхідних сигналів	5	10	15	20	25	50	75	100
Нормована ПМД	0.06	0.05	0.04	0.05	0.05	0.07	0.08	0.12
Ефективність мінімізації	3,03	4,22	4,51	4,04	3,80	2,94	2,34	1,66



Рис. 9. Залежність ефективності методу мінімізації ПМД від кількості вхідних сигналів

Як зрозуміло з отриманих результатів, для оптичного волокна заданої довжини існує така кількість кроків вибору вхідного еліпса поляризації, для якої ефективність методу є максимальною. Також за збільшення кількості кроків ми спостерігаємо падіння ефективності використання такого методу мінімізації. Це пояснюється тим, що під час підбору мінімального значення передача також

ведеться, а значення ДГЗ не є мінімальним. Переважно за зменшення динаміки (збільшення часу, протягом якого ОВ не змінюється) спостерігається зростання ефективності використання методу мінімізації. Якщо довжина ОВ зростає, то спостерігається переміщення оптимального значення також в бік збільшення.

Отже, для ОВ заданої довжини за постійної динаміки існує така кількість еліпсів поляризації вхідного сигналу, для якої поляризаційно-модова дисперсія буде мінімальною. Для конкретного волокна цей параметр (кількість вхідних сигналів) потрібно підбирати, тому що для різних волокон він також відрізняється (лежить в межах 15–30 точок).

Висновки

Оптичне волокно, що складається з N двозаломлюючих сегментів по-різному модифікує вхідне світлове випромінювання різних довжин хвиль (оптичних несучих системи DWDM), що і призводить до виникнення різних значень ДГЗ.

Для ОВ заданої довжини за постійної динаміки існує такий еліпс поляризації вхідного сигналу, для якого поляризаційно-модова дисперсія буде мінімальною.

На основі досліджень залежності диференціальної групової затримки від довжини хвилі і еліпса поляризації вхідного сигналу запропоновано схему мінімізації ПМД оптичного лінійного тракту системи з спектральним ущільненням каналів зі зворотним зв'язком і модулятором вхідного випромінювання, використання якої дає змогу зменшити поляризаційно-модову дисперсію у 4–7 разів залежно від динаміки зміни оптичного волокна.

На основі результатів дослідження залежності ефективності методу від динаміки зміни оптичного волокна можна зробити висновок, що чим менша швидкість зміни параметрів оптичного волокна, тим вища ефективність використання запропонованого методу мінімізації ПМД.

1. Шерклифф У. Поляризований світ. – М., 1965. 2. Убайдулаев Р.Р. Волоконно-оптические сети. – М., 2000. 3. Чернихівський Є.М., Климаш М.М. Моделирование і дослідження поляризаційно-модової дисперсії оптичного волокна: Матеріали міжнародної конференції COMINFO–2005.

УДК 681.32.03

М.М. Климаш, І.В. Демидов, І.Б. Чайковський
Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра телекомунікацій

АНАЛІЗ КОНФІГУРАЦІЇ ТА ПАРАМЕТРІВ DWDM СИСТЕМ ОПТИЧНИХ МАГІСТРАЛЬНИХ ТРАКТІВ

© Климаш М.М., Демидов І.В., Чайковський І.Б., 2006

Розглянуто проблеми аналітичної оцінки якості функціонування DWDM-систем і запропоновано шляхи оптимізації параметрів оптичних DWDM-трактів на основі програмної моделі.

The problems of an analytical estimation of DWDM systems' operation quality are considered and the ways of DWDM baseband transmission paths parameters optimization on the basis of programmatic model are proposed.

Вступ

Оцінка якості передавання інформації у системі з оптичним частотним ущільненням необхідна під час проектування оптичного обладнання на стадії розробки оптичних компонентів та