

## МОДЕЛЬ ПОЛЯРИЗАЦІЙНО-МОДОВОЇ ДИСПЕРСІЇ ОПТИЧНОГО ВОЛОКНА

© Климаш М.М., Чернихівський Є.М., 2005

Наведено модифікований метод Джонса для математичного перетворення оптичних сигналів і обчислення диференціальної групової затримки оптичного волокна, а також модель поляризаційно-модової дисперсії оптичного волокна, результати моделювання диференціальної групової затримки для оптичного волокна, що складається з  $N$  сегментів.

In the article the modified Jones method is resulted for mathematical transformation of optical signals and calculation of differential group delay of optical fibre, and also model of polarization mode dispersion of optical fibre, results of design of differential group delay for an optical fibre, that consists of the  $N$  segments.

В останні роки експоненційний ріст попиту на високошвидкісні оптичні системи передавання призвів до появи на ринку мульти-гігабітного обладнання [1]. Зростання швидкості передавання та досягнення в області технологій оптичного підсилення дало змогу на порядок збільшити відстань передавання і привело до появи нових технічних рішень. Ширина смуги пропускання системи передавання обмежується оптичними і електричними компонентами, а також властивостями самого оптичного волокна.

Дослідження поляризаційно-модової дисперсії (ПМД) все більше привертає увагу дослідників, виробників волокна і розробників систем передавання. Розроблені методи контролю і компенсації хроматичної дисперсії зводять її вплив практично до нуля, роблячи вплив ПМД вирішальним обмежуючим чинником швидкості передавання і довжини регенераційної ділянки. Введення оптичних підсилювачів значно збільшує довжину регенераційної ділянки, однак це призводить до акумуляції впливу ПМД на більших відстанях передавання [1; 2].

### Вектор Джонса для подання поляризованого світла

Для подання поляризованого випромінювання використовується вектор Джонса. Якщо відкинути абсолютну фазу кожної з поляризаційних складових вихідного сигналу, а амплітуду прийняти нормованою до максимального значення, то вектор Джонса для довільного стану поляризації оптичного випромінювання матиме вигляд [3]

$$\begin{bmatrix} e^{-j\gamma} \cos(\alpha) \\ e^{j\gamma} \sin(\alpha) \end{bmatrix}, \quad (1)$$

де  $\gamma = (\gamma_y - \gamma_x)/2$  – різниця фаз між вертикальною і горизонтальною поляризаційними складовими; амплітуда компонентів – це функції кута  $\alpha$ , причому як  $\gamma$ , так і  $\alpha$  – це дійсні числа.

Використання вектора Джонса для подання стану поляризації оптичного випромінювання забезпечує простий шлях математичного маніпулювання сигналами із певним заданим станом поляризації.

### Двопроменезаломлення в оптичних волокнах

Одномодове волокно, в якому поширюється мода  $HE_{11}$ , може одночасно підтримувати два ортогональні стани поляризації. Ці два ортогональні стани поляризації будуть поширюватися однаково тільки тоді, коли показник заломлення матеріалу волокна  $n$  є однаковим, тобто серцевина волокна є циліндричною.

Різниця поширення двох ортогональних поляризаційних складових виникає тоді, коли спостерігається асиметрія (анізотропія) серцевини волокна. Причини еліптичності серцевини можуть бути внутрішніми (внутрішній нерівномірний по довжині тиск, що виник в процесі витягування або охолодження волокна під час виробництва) або зовнішніми (тиск, що виникає в процесі прокладання кабелю, мікро- або макрозгини, тиск, що виникає при крученні тощо).

Для кожної частоти завдяки різниці показника заломлення фаза обох компонент також буде змінюватися по-різному. Поширення двох ортогональних станів поляризації призведе до зміни еліпса поляризації з відстанню поширення.

Взагалі, при передачі у волокно з високим подвійним променезаломленням вхідного сигналу з довільним еліпсом поляризації, ми отримуємо на виході два різних ортогональних стани поляризації з відносним зсувом по часу між ними, який відомий як явище поляризаційної модової дисперсії. ПМД – це стохастичний процес. Випадкова конфігурація двоприменезаломлення, яке викликає ПМД, залежить від тиску, індукованого від намотування на котушку, закріплення, змін температури і будь-якого іншого зовнішнього впливаючого чинника, який може викликати відхилення форми серцевини волокна від ідеальної циліндричної форми.

### Емуляція оптичного волокна

Завдяки високій статистичній природі дослідження ПМД можна проводити за допомогою комп'ютерної емуляції.

Короткий сегмент волокна з високим ступенем двоприменезаломлення можна подати як хвильову пластинку (реально – пластинка – це двоприменезаломлюючий кристал з двома оптичними осями). Двоприменезаломлення призводить до розділення світла на два ортогональні стани лінійної поляризації уздовж осей симетрії волокна. Це вносить фазове зміщення між ортогональними поляризованими складовими сигналу, що поширюється через волокно. Рис. 1 показує найпростіший випадок передавання імпульсу через одну пластинку (сегмент волокна) з швидкою і повільною осями, що відповідають більш низькому і високому значенням показника заломлення відповідно.

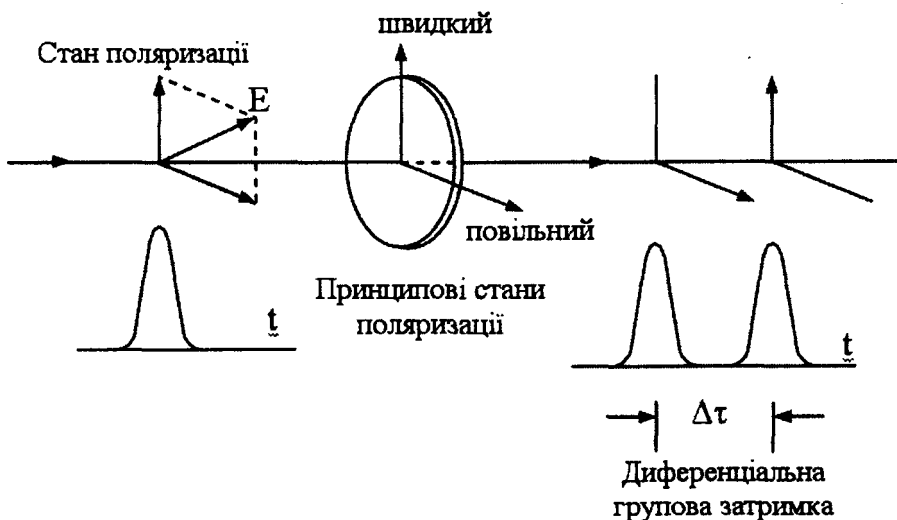


Рис. 1. Сегмент оптичного волокна як двоприменезаломлююча пластинка [4]

Підхід, що використовується для моделювання оптичного волокна з заданим середнім DGD  $\langle\Delta\tau\rangle$ , складається з каскадування великої кількості хвильових пластинок, кожна з яких вводить випадкову затримку  $\Delta\tau_i$ , і з їх випадковою довільною орієнтацією швидкої і повільної осей, як показано на рис. 2 .

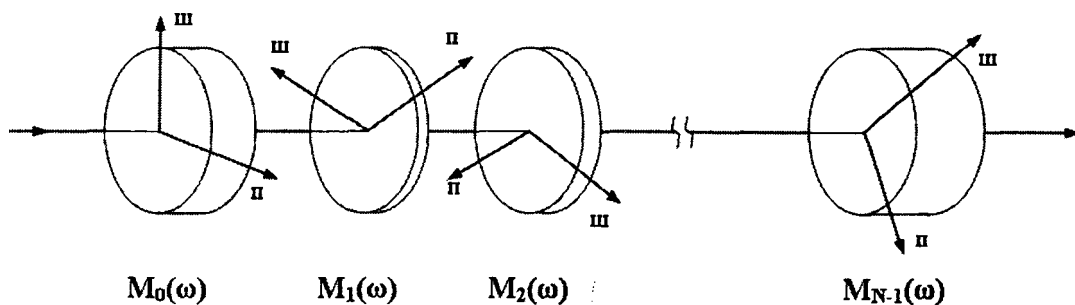


Рис. 2. Модель ПМД оптичного волокна як послідовність хвильових пластинок різної товщини і з різними кутами орієнтації швидкої і повільної осі

Кожна з пластинок на рис. 2 характеризується комплексними матрицями Джонса розміром  $2 \times 2$  [3]

$$M_i(\omega) = \begin{bmatrix} \cos\theta_i & \sin\theta_i \\ -\sin\theta_i & \cos\theta_i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e^{j\omega \frac{\Delta\tau_i}{2}} & 0 \\ 0 & e^{-j\omega \frac{\Delta\tau_i}{2}} \end{bmatrix}, \quad (2)$$

де перша матриця вводить обертання оптичного поля в систему відліку місцевих основних станів поляризації, а друга використовується для розрахунку DGD, виходячи з затримки між ортогональними поляризованими компонентами. Кут повороту кожного сегмента  $\theta_i$  є випадковими із діапазону від 0 до  $2\pi$  радіан; значення  $\Delta\tau_i$  (в пікосекундах, ps) також задаються з діапазону від 0 до максимального значення DGD  $\Delta\tau_{\max}$ . Під цими умовами  $U(\omega)$  в рівнянні (3) можна отримати як добуток матриць Джонса кожної індивідуальної пластинки:

$$U(\omega) = \prod_{i=0}^{N-1} M_i(\omega). \quad (3)$$

Оскільки ми хочемо зосередити увагу на природі змін, введених виключно ПМД на оптичному імпульсі, то нехтуватимемо результатом, введеним хроматичною дисперсією і втратами волокна. Рівняння (3) дає можливість обчислити DGD для оптичного волокна, складеного з  $N$  різних пластинок з рівномірним випадковим розподілом  $\Delta\tau_i$  і  $\theta_i$  кожної пластинки, причому азимут осі найбільшої швидкості береться по відношенню до азимута попередньої пластинки.

### Моделювання диференціальної групової затримки оптичного волокна

Рівняння (3) ілюструє результуючу матрицю, отриману методом Джонса для операцій з поляризованим світлом. Для оптичного волокна метод Джонса вимагає деякої модифікації, тому що він працює тільки для сповільнюючої пластинки чи багатьох пластинок з сумарною різницею фаз не більше  $2\pi$ . Якщо ж різниця фаз між двома ортогональними складовими перевищує  $2\pi$ , то ми все одно отримаємо результат в межах  $[0; 2\pi]$ . Оскільки нас цікавить результуюча ДГЗ оптичного волокна, складеного з  $N$  сегментів, то використаємо метод Джонса для розрахунку різниці фаз між ортогональними складовими для одного сегмента волокна, вихідний вектор якого буде одночасно вхідним для наступного сегмента, а саму ДГЗ фіксуватимемо, причому значення ДГЗ може бути як додатним, так і від'ємним. Сумарна диференціальна групова затримка оптичного волокна дорівнюватиме сумі ДГЗ всіх сегментів, що його становлять.

Результати моделювання оптичного волокна показані на рис. 3.

Вихідні дані для моделювання є такими:  $\omega=1,22e+15$  (кутова частота, що відповідає довжині хвилі 1,55 мкм), кількість ітерацій –  $10e+4$ ,  $N=100$  – кількість складових оптичного волокна. Діапазон вибору азимуту осі максимальної швидкості –  $[0; 2\pi]$ , максимальна затримка одного сегмента волокна –  $5,167e-3$  пс (вибирається такою, щоб різниця фаз сегмента волокна для заданої довжини хвилі не перевищувала  $2\pi$ ). Максимальна затримка волокна з  $N$  сегментів, якщо б азимут осі найбільшої швидкості всіх сегментів збігались, а основний стан поляризації вхідного сигналу збігався б з віссю найбільшої швидкості – 0,2583 пс.

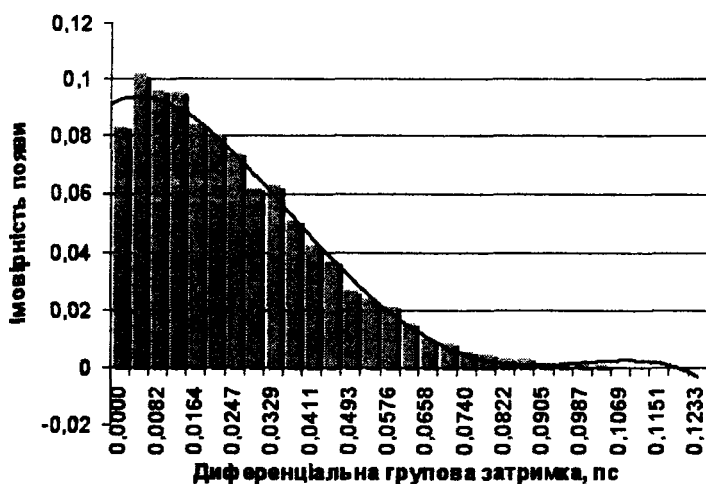


Рис. 3. Диференціальна групова затримка волокна

Ця модель дає можливість обчислити ДГЗ для будь-якої довжини хвилі. Після проведеного моделювання можна зробити висновок, що за однакових значень азимутів і затримки кожного з сегментів для різної довжини хвилі ми отримаємо різні значення ДГЗ, але загальний статистичний характер залежності і середнє значення ДГЗ залишаються приблизно однаковими.

1. Убайдулаев Р.Р. Волоконно-оптичские сети. – М., 2000. 2. Каток В.Б. Волоконно-оптичні системи зв'язку. – К., 1999. 3. Шерклифф У. Поляризований світ. – М., 1965. 4. Klymash M., Chernikhivsky Y., Shyika Y. The Modelling of Optical Fibers Polarization Characteristics Using Muller and Jones Matrices. Матеріали Міжнародної конференції "Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій і комп'ютерної інженерії – TCSET2004" – Львів–Славськo, 24–28 лютого 2004 р. 5. Аззам Р., Башара Н. Еллипсометрия и поляризованный свет. – М., 1981. 6. Джеррард А., Берч Дж. М. Введение в матричную оптику. – М., 1978.

УДК 681.32.03

М.М. Климаш<sup>1</sup>, Л.С. Гец<sup>2</sup>, Т.В. Андрухів<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Національний університет "Львівська політехніка",  
кафедра телекомунікацій,

<sup>2</sup> Львівська філія ВАТ "Укртелеком"

### ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ПОТОКІВ МІСЬКИХ ТРАНСПОРТНИХ SDH-МЕРЕЖ З РЕЗЕРВУВАННЯМ

© Климаш М.М., Гец Л.С., Андрухів Т.В., 2005

Досліджено основні методи резервування потоків в SDH-мережах та пропускну здатність мережі на основі кілець типу MS SPRing. Визначено структурну надійність діючої транспортної мережі м. Львова та запропоновано спосіб для підвищення структурної надійності мережі.

The main methods of streams reservation in SDH networks, network capacity on the basis of MS SPRing have been outlined. Structure reliability of Lviv current transport network has been determined and a way which would allow to increase structure reliability of this network has been found.

У зв'язку з постійним ростом обсягу послуг та пропускних здатностей постає питання ефективної оптимізації потоків із врахуванням резервування. Особливо гостро це питання стосується міських мереж. Для вирішення питання оптимізації потоків із врахуванням резервування в міських