

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра «Автоматика та телекомунікації»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичних занять з дисципліни

«Оптоелектронні системи зв'язку»

(для студентів денної, заочної та очно-заочної форми навчання
напрямку підготовки 6.050903 «Телекомунікації»)

Затверджено на засіданні кафедри
«Автоматика та телекомунікації»
протокол №11 від 23.11.2009

Затверджено навчально-видавничою
радою ДонНТУ
Протокол №1 від 01.03.2010

Донецьк, 2009

Методичні рекомендації до практичних занять з дисципліни «Оптоелектронні системи зв'язку» для студентів денної, заочної та очно-заочної форми навчання напрямку підготовки 6.050903 «Телекомунікації» / Укл.: доц. Бессараб В.І., ас. Ступак Г.В. - Донецьк: ДонНТУ, 2009.- 65с.

Практичний курс з волоконно-оптичних систем передачі орієнтовано на опанування студентами практичних навичок проектування телекомунікаційних мереж зв'язку на базі волоконно-оптичних технологій.

Описані основні засади застосування волоконно-оптичних систем передачі, визначені основні поняття, наведені приклади розрахунку волоконно-оптичних систем та їх найважливіших параметрів.

Укладачі:

доц. Бессараб В.І.

ас. Ступак Г.В.

Рецензент:

доцент кафедри АСУ

Прівалов М.В.

Відповідальний за випуск Бессараб В.І.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ	5
ВСТУП	6
1 ЗАСТОСУВАННЯ ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В ТЕХНІЦІ ЗВ'ЯЗКУ	7
2 ОСНОВИ РОЗПОВСЮДЖЕННЯ СВІТЛА В ОПТИЧНИХ ВОЛОКНАХ	10
2.1 Показник заломлення	11
2.2 Закони геометричної оптики, закон Снеліуса	13
3 ОСНОВНІ ПАРАМЕТРИ ВОЛОКНА ТА КОНСТРУКТИВНІ ОСОБЛИВОСТІ	19
3.1 Конструктивні особливості	19
3.2 Ключові параметри ОВ-кабелів	20
3.3 Нормована частота, моди, хвиля відсічки	25
4 ДИСПЕРСІЯ ТА ЗАГАСАННЯ ОПТИЧНОГО СИГНАЛУ В ОПТИЧНИХ ВОЛОКНАХ	31
4.1 Дисперсія в оптичних волокнах	31
4.2 Загасання сигналу в оптоволоконному тракті	35
5 ПАСИВНІ ТА АКТИВНІ КОМПОНЕНТИ ВОЛЗ	37
5.1 Пасивні компоненти ВОЛЗ	37
5.1.1 Роз'ємні з'єднання	38
5.2 Активні компоненти ВОЛЗ	41
5.2.1 Оптичні передавачі	41
5.2.2 Оптичні приймачі	46
6 ПРИКЛАД РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ ВОЛОКОННО- ОПТИЧНИХ ЛІНІЙ ЗВ'ЯЗКУ	47
7 ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ ДЛЯ РОЗРАХУНКОВОЇ РОБОТИ	53
7.1 Варіанти завдань	53
7.2 Вимоги до оформлення розрахункової роботи	56

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	57
Додаток А – Основні типи роз’ємних з’єднань	58
Додаток Б – Титульний лист.....	64
Додаток В – Схема з’єднань	65

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

- ВОЛЗ – волоконно-оптична лінія зв'язку
- КУД – кінцеве устаткування даних
- ЛОМ – локальна обчислювальна мережа
- ОВ – оптичне волокно
- ПВВ – повне внутрішнє відбиття
- УФ – ультрафіолетовий діапазон
- ІЧ – інфрочервоний діапазон
- ВОСП – волоконно-оптична система передачі
- ПОМ – передавальний оптоелектронний модуль
- ККД – коефіцієнт корисної дії
- ЛД – лазерні діоди
- VCSEL – (Vertical Cavity Surface Emitting Laser) – лазер поверхневого випромінювання з вертикальним об'ємним резонатором
- ПрОМ – прийомний оптоелектронний модуль

ВСТУП

Характерною рисою інформаційної ери є бурхливий розвиток комунікацій – однієї зі складових інфраструктури інформаційних технологій. В умовах підвищення потреб в забезпеченні надійних каналів зв'язку як у сфері побудови інформаційних мереж, так й в області промислової автоматизації виникла необхідність пошуку альтернативних технологій передачі даних замість традиційних, що засновані на мідному кабелі. Ця альтернатива – волоконно-оптичні лінії зв'язку (ВОЛЗ), що дозволяють передавати інформацію із більш високими швидкостями в порівнянні з мідним кабелем, нечутливі до електромагнітного випромінювання й мають цілком прийнятні показники вартості. Інформаційний канал при цьому складається з оптичного випромінювача, приймача і середовища передачі інформації – оптичного волокна.

Поштовхом до інтенсивного розвитку волоконно-оптичних ліній зв'язку послужило вирішення ряду технічних проблем, що пов'язані з одержанням якісного оптичного волокна (з малим коефіцієнтом загасання), і досягнення в області напівпровідникових лазерів. Безумовно, одним з ключових моментів, що сприяють розповсюдженню ВОЛЗ, є розвиток цифрових методів передачі інформації.

Волоконно-оптичні лінії застосовуються на всіх рівнях сучасних телекомунікаційних мереж, починаючи від рівня доступу та закінчуючи магістральними мережами трансконтинентального значення.

1 ЗАСТОСУВАННЯ ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В ТЕХНІЦІ ЗВ'ЯЗКУ

Оптичне волокно в цей час вважається самим довершеним фізичним середовищем для передачі великих потоків інформації на значні відстані. Це впливає з ряду особливостей, що властиві оптичним хвильоводам. Ключовими перевагами оптичного волокна є:

- широкосмуговість сигналів оптичного діапазону, з надзвичайно високою частотою несучої (10¹⁴ Гц);
- мале загасання оптичного сигналу у волокні (0.2 дБ/км при довжині хвилі 1.55 мкм);
- тривалий термін служби оптичних волокон;
- стійкість до електромагнітних впливів;
- відсутність випромінювання в оптоволоконному кабелі;
- привабливі масово-габаритні параметри;
- захищеність від несанкціонованого доступу.

Серед недоліків оптичних ліній зв'язку слід відзначити наступні:

- відносна «крихкість» та ламкість волоконних ліній та оптичних жил;
- трудомісткий і дорогий процес окінцювання волокон.

Типова схема системи зв'язку на базі волоконно-оптичних технологій зображена на рисунку 1.1.

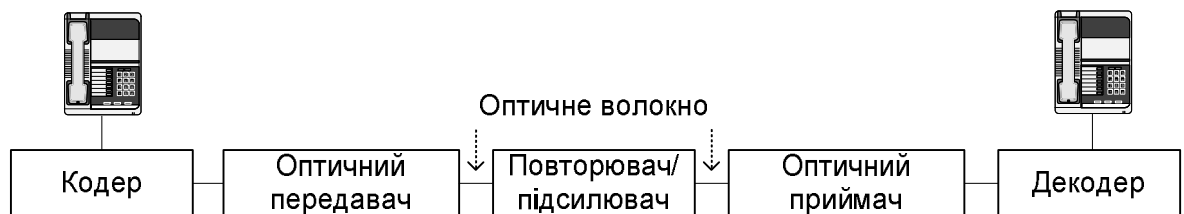


Рисунок 1.1 – Типова схема волоконно-оптичної системи зв'язку

Аналоговий сигнал, що генерується кінцевим устаткуванням даних (КУД), наприклад, телефоном, терміналом, відеокамерою й т.д., приходить на вузол комутації, де аналого-цифровий перетворювач (кодер) перетворює його в цифровий бітовий потік. Бітовий потік використовується для модуляції оптичного передавача, що передає серію оптичних імпульсів в оптичне волокно. На прийомній стороні імпульси світла перетворюються в електричний сигнал за допомогою оптичного приймача. Декодерна частина комунікаційної системи перетворює бінарний електричний потік назад в аналоговий сигнал КУД. Звичайно кодери й декодери, і так само оптичні приймачі й передавачі об'єднані в одному пристрої, так що утворюються двонаправлений канал зв'язку.

Оптичний передавач забезпечує перетворення вхідного електричного (цифрового або аналогового) сигналу у вихідний світловий (цифровий або аналоговий) сигнал. При цифровій передачі оптичний випромінювач передавача "включається" й "вимикається" відповідно до вхідного бітового потоку електричного сигналу. Для цих цілей використовуються інфрачервоні світловипромінюючі діоди LED або лазерні діоди ILD. Ці пристрої здатні підтримувати модуляцію світла що випромінюється з мегагерцовими й навіть гігагерцовими частотами. При побудові мереж кабельного телебачення оптичний передавач здійснює перетворення широкосмугового аналогового електричного сигналу в аналоговий оптичний. В останньому випадку оптичний передавач повинен мати високу лінійність.

Оптичний приймач здійснює зворотне перетворення вхідних оптичних імпульсів у вихідні імпульси електричного струму. Як основний елемент оптичного приймача використовуються р-і-n і лавинні фотодіоди, що мають дуже малу інерційність.

Повторювач складається з оптичного приймача, електричного підсилювача й оптичного передавача. При передачі дискретного сигналу електричне підсилення, як правило, може супроводжуватися відновленням фронтів і тривалістю імпульсів що передаються. Для цього повторювач

приймає оптичний сигнал в синхронному або асинхронному режимі, в залежності від стандарту передачі.

Оптичний підсилювач не здійснює оптоелектроного перетворення як це робить повторювач або регенаратор. Він, використовуючи спеціальні активні середовища й лазери накачування, безпосередньо підсилює минаючий оптичний сигнал, завдяки індукованому випромінюванню. Таким чином, підсилювач не наділений функціями відновлення шпаруватості, у чому уступає повторювачу.

Волоконно-оптичний кабель – середовище яким поширюється світловий сигнал. Кабель складається із волокна й захисних оболонок. Для передачі використовується діапазон довжин хвиль від 0.8 до 1.6 мкм, що відповідає ближнім інфрачервоним хвилям. Оптичний кабель містить один або декілька світловодів. Світловод – це напрямна система для передачі електромагнітних хвиль оптичного діапазону. Практичне значення мають тільки волоконні світловоди, що виготовлені з високо прозорого діелектрика: скла або полімеру.

За допомогою волоконно-оптичних кабелів на сьогоднішній день будуються наступні різновиди телекомунікаційних мереж:

- локальні обчислювальні мережі (ЛОМ) на базі стандартів сімейства Ethernet зі швидкостями 10, 100, 1000, 10000 Мбіт/с;
- магістральні мережі системи кабельного телебачення;
- PON та AON мережі;
- комп'ютерні мережі на базі технологій FDDI, Token Ring;
- магістральні мережі передачі даних та голосу рівня MAN, MATN, WAN;
- транспортні мережі операторів фіксованого та мобільного зв'язку з використанням технологій ATM, SDH, MPLS

2 ОСНОВИ РОЗПОВСЮДЖЕННЯ СВІТЛА В ОПТИЧНИХ ВОЛОКНАХ

Волоконно-оптичні кабелі працюють на основних законах геометричної оптики:

- закон віддзеркалення;
- закон заломлення.

Принцип передачі електромагнітного випромінювання по оптичному волокну протікає за хвильовідним методом за законом багаторазового відбиття хвилі від границі розділу середовищ. На рисунку 2.1 показано як відбувається передача енергії в волоконному світловоді.

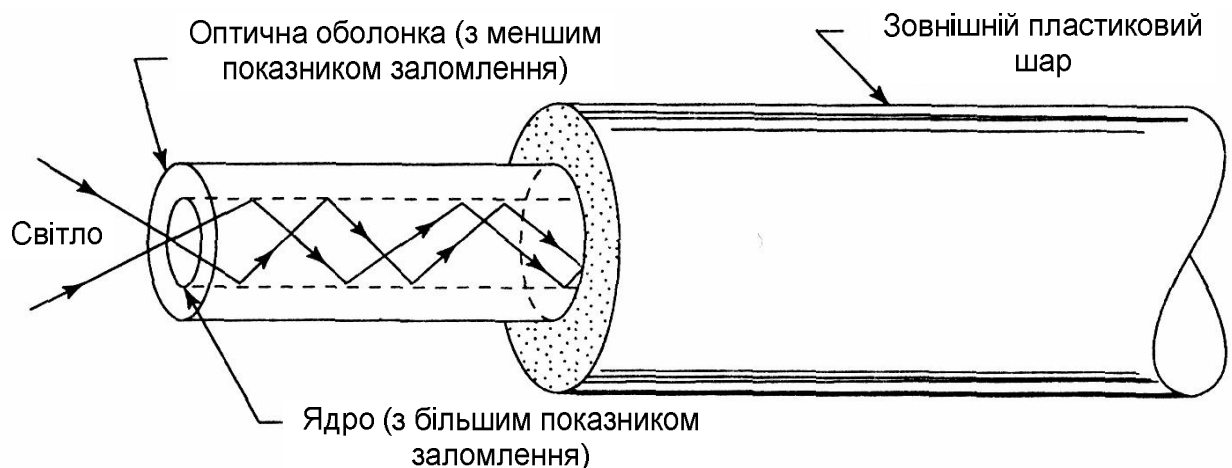


Рисунок 2.1 – Передача енергії по оптичному волокну

Електромагнітне випромінювання що представлено променями світла входить у серцевину волокна через його вхідний торець і поширюється по волокну, утримуючись усередині серцевини за рахунок повного внутрішнього відбиття на границі з оболонкою що має менший показник заломлення.

Жила оптичного волокна (ОВ) може бути названа оптичним світловодом. Жила ОВ складається із внутрішньої серцевини (ядра) й

навколишньої її оболонки. Будь-які додаткові покриття (оболонки) є захисними.

2.1 Показник заломлення

Однією з найважливіших характеристик є показник заломлення середовища в якій поширюється світло. Він відбиває ступінь зміни напрямку ходу променя при перетинанні границі розподілу двох середовищ. Як і будь-яке середовище поширення, оптична жила й оболонка мають показники заломлення n_1 й n_2 відповідно. Жила ОВ спроектована таким чином що $n_1 > n_2$, тобто структура серцевина-оболонка, поводить ся як хвилевід.

З фізики відомо, що показник заломлення середовища дорівнює відношенню швидкості світла у вакуумі ($3 \cdot 10^8$ м/с) на швидкість світла в даному середовищі:

$$n = c/v \quad (2.1)$$

В вакуумі показник заломлення дорівнює 1, в реальних середовищах завжди більше одиниці.

В якості практичного прикладу можна навести наступну задачу.

Задача №2.1

Визначити показник заломлення середовища, якщо відомо що швидкість світла в ньому складає $2 \cdot 10^8$ м/с.

Дано:

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$$

$$v = 2 \cdot 10^8 \text{ м/с}$$

$$n = ?$$

Розв'язання

Виходячи з визначення показника за формулою 2.1 маємо наступне:

$$n=c/v=3 \times 10^8 / 2 \times 10^8 = 1.5$$

Відповідь

Показник заломлення середовища складає 1.6.

В таблиці 2.1 зведемо показники заломлення найпоширеніших середовищ.

Таблиця 2.1 – Значення показників заломлення

Середовище	Показник
Повітря (за звичайних умов)	1,0003
Вода	1,333
Органічне скло	1,51
Кремній	4,01
Алмаз	2,419
Кварц	1,544
Топаз	1,63
Льод	1,31

Практичне визначення показника заломлення також може базуватися на наступній формулі:

$$n = \frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} \quad (2.2)$$

Відношення синуса кута падіння (α) променя до синуса кута заломлення (γ) при переході променя із середовища А у середовище В. Практичний приклад продемонстровано в задачі 2.2.

Задача №2.2

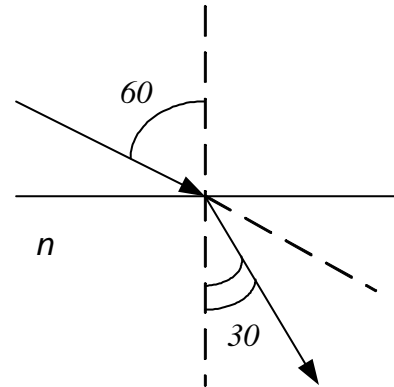
Визначити показник заломлення середовища якщо відомо, що кут падіння світла становить 60 градусів, а кут заломлення 30, проілюструвати задачу графічно.

Дано

$$\alpha=60$$

$$\gamma=30$$

$$n=?$$



Розв'язання

Виходячи з формули 2.2 знайдемо показник заломлення:

$$n = \sin\alpha / \sin\gamma = \sin 60 / \sin 30 = 0.87 / 0.5 = 1.74$$

Відповідь

Показник заломлення дорівнює 1.74.

2.2 Закони геометричної оптики, закон Снеліуса

Перед розглядом основних законів оптики слід зазначити що світло має хвильову та корпускулярну природу, тобто:

- хвильова теорія – світло різновид електромагнітних коливань;
- згідно з корпускулярною теорією – світло представляється в вигляді часток, що швидко рухаються, котрі випромінюються окремими порціями – квантами. Ця теорія відображає природу розповсюдження світла в різноманітних середовищах

Як фактично поширюється світло по ОВ найкраще пояснити, використовуючи закономірності геометричної оптики й закон Снелліуса (співвідношення між кутом падіння й відбиття).

Спрощено можна сказати, що коли світло переходить із середовища з більшим показником заломлення в середовище з меншим показником заломлення, заломлений промінь відхиляється від нормального. Чим більше стає кут падіння на границю розподілу, тим більше відхиляється заломлений промінь від нормального променя, доти поки заломлений промінь не досягає кута в 90° , стосовно нормального, і починає розповсюджуватися по поверхні розподілу. Рисунок 2.2 демонструє картину при різних кутах падіння.

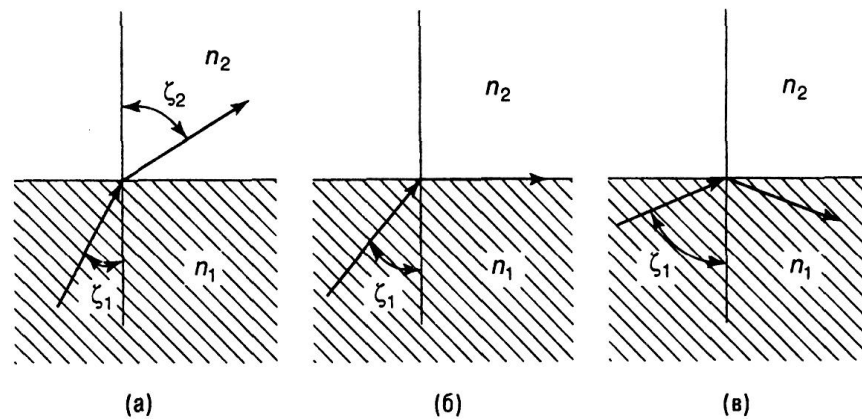


Рисунок 2.2 – Шлях променів для декількох кутів падіння

Рисунок 2.2(a) ілюструє випадок коли кут падіння є таким, при якому заломлений промінь повністю йде у вільний простір. Рисунок 2.2(б) показує такий кут падіння, що називається критичним, коли заломлений промінь починає розповсюджуватися по границі розподілу. Рисунок 2.2(в) демонструє випадок повного внутрішнього відбиття (ПВВ). Це відбувається тоді, коли кут падіння перевищує критичний. ОВ на основі кварцового скла, що використовується для цілей передачі світла, дозволяє досягти ефекту повного внутрішнього відбиття.

Нижче більш детально зупинимося на співвідношенні Снелліуса. Закон Снелліуса встановлює числове співвідношення між кутами падіння й заломлення променя при переході з одного середовища до іншого. Якщо θ_1 й θ_2 – кути падіння й заломлення, відповідно, щодо нормалі, при переході променя з одного середовища до іншого, а n_1 й n_2 – коефіцієнти заломлення цих середовищ, то має місце співвідношення

$$n_1 \sin(\theta_1) = n_2 \sin(\theta_2) \quad (2.3)$$

Приведемо приклад використання закону Снелліуса.

Задача №2.3

Знайти кут заломлення променя, якщо відомо що, кут падіння променя світла, при його поширенні зі скла ($n_1 = 1,5$) у повітря ($n_2 = 1$) дорівнює $8,7^\circ$.

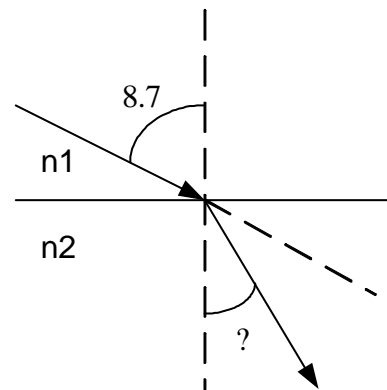
Дано

$$n_1 = 1,5$$

$$n_2 = 1$$

$$\theta_1 = 8,7^\circ$$

$$\theta_2 = ?$$



Розв'язання

Для розв'язання задачі необхідно скористатися законом Снелліуса (2.3)

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

$$\sin \theta_2 = n_1 \sin \theta_1 / n_2$$

$$\theta_2 = \arcsin(n_1 \sin \theta_1 / n_2) = \arcsin(1.5 \sin 8.7 / 1) =$$

$$= \arcsin(1.5 * 0.151 / 1) = \arcsin(0.2265) = 13.09$$

Відповідь

Кут заломлення становить $13,09^\circ$.

Зі співвідношення Снелліуса (2.3) можна знайти критичний кут (рисунок 2.2б), тобто кут під яким необхідно направити світловий потік, щоб кут відбиття дорівнював 90 градусам і світловий потік розповсюджувався по поверхні розподілу.

$$\theta_1 = \arcsin\left(\frac{n_2}{n_1}\right) \quad (2.4)$$

Наведемо приклад знаходження критичного кута.

Задача №2.4

Знайти критичний кут якщо відомо що показник заломлення ядра $1,46$, а оптичної оболонки $1,44$.

Дано

$$n_1 = 1,46$$

$$n_2 = 1,44$$

$$\theta_1 = ?$$

Розв'язання

Для розв'язання скористаємося формулою (2.4):

$$\theta_1 = \arcsin\left(\frac{n_2}{n_1}\right) = \arcsin\left(\frac{1,44}{1,46}\right) = \arcsin(0,9863) = 80,5^\circ$$

Відповідь

Критичний кут становить $80,5^\circ$

Що стосується діапазонів світлових хвиль, що використовуються для передачі в ОВ, необхідно згадати про двоїсту природу світла. Ця концепція

безперервного спектра ілюструється рисунком 2.3. Для довжини хвилі звичайно використовується позначення λ , її основною одиницею виміру є метр. Ми можемо зв'язати частоту в герцах і довжину хвилі в метрах (м), використовуючи традиційну формулу

$$F\lambda = 3 \times 10^8 \text{ м/с} = C \text{ (швидкість світла у вакуумі)} \quad (2.5)$$

де, F у герцах, а λ в метрах.

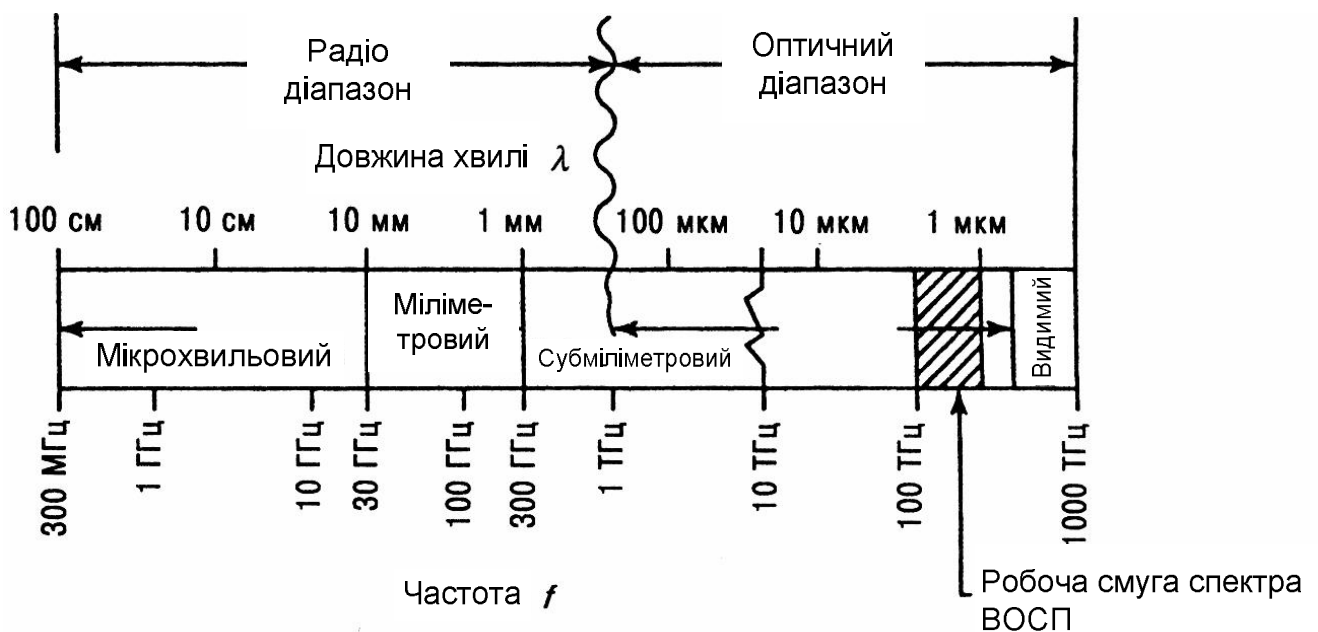


Рисунок 2.3 – Частотний спектр

На рисунку 2.4 показані три основних вікна прозорості, які є робочими діапазонами довжин хвиль для ВОСП:

- 820-900 нм;
- 1280-1350 нм;
- 1528-1561 нм.

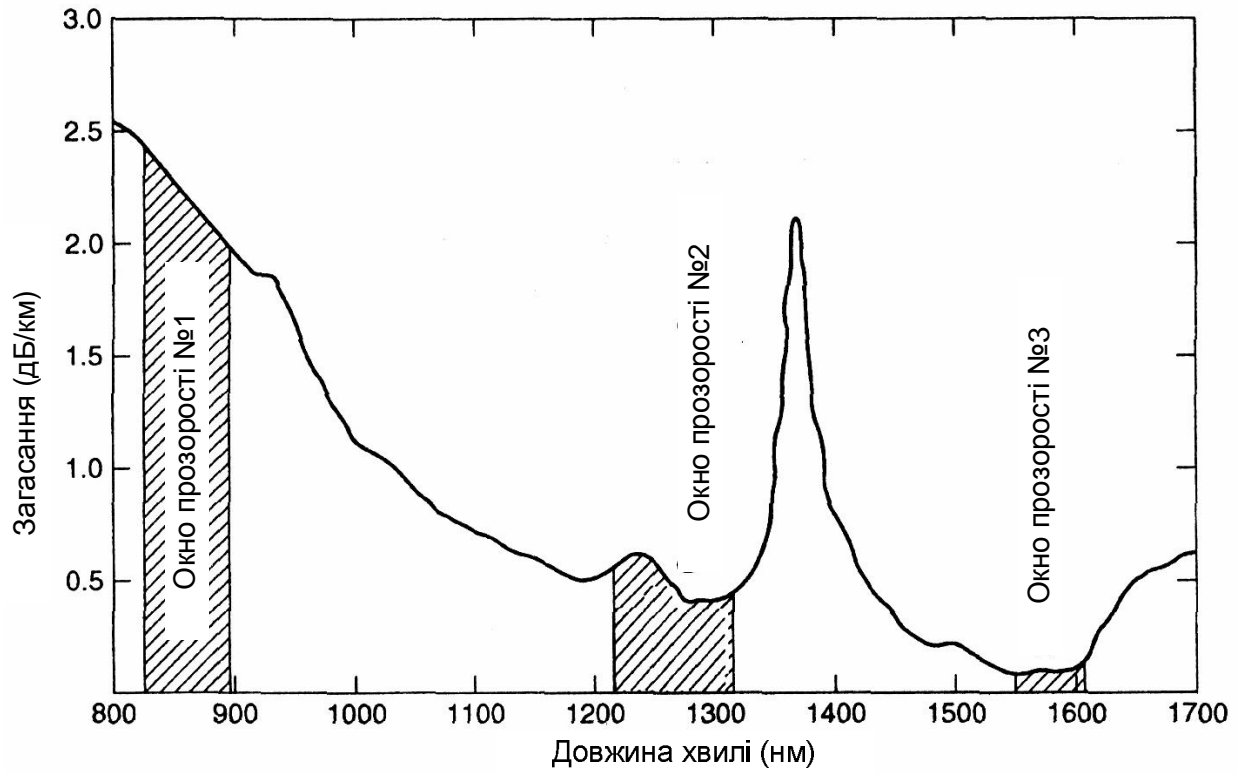


Рисунок 2.4 – Загасання оптичного волокна залежно від довжини хвилі

Останнє вікно може бути розширене до 1620 нм. Цю область зазвичай називають четвертим вікном прозорості. Діапазони вікон зумовлені найменшим загасанням сигналу в оптичному волокні.

3 ОСНОВНІ ПАРАМЕТРИ ВОЛОКНА ТА КОНСТРУКТИВНІ ОСОБЛИВОСТІ

3.1 Конструктивні особливості

Як вже зазначалося раніше, конструктивно складається з трьох основних елементів:

- ядро;
- оптична оболонка;
- захисна оболонка.

Побудова та розріз оптико волоконного кабелю показаний на рисунку 2.1 в попередньому розділі. Конструктивно оптичне волокно може бути виконано з наступних матеріалів:

- скло;
- GaAlAs;
- пластик.

Для кожного із цих елементів існують відповідні показники заломлення, швидкості світла й вікна прозорості. Основні параметри зведені в таблицю 3.1.

Таблиця 3.1 – Характеристики матеріалів

Матеріал	Довжина хвилі в вакуумі, нм	Показник заломлення	Довжина хвилі в матеріалі, нм
Скло	850	1,4525	585,5
	1300	1,4469	898,5
	1550	1,444	1073,4
GaAlAs	850	3,6	236,1
Пластик	650	1,4-1,5	433-464

Ядро служить для передачі електромагнітної енергії, а оболонка - для створення кращих умов відбиття на границі ядро-оболонка та для захисту від випромінювання енергії в навколишній простір.

Оптоволоконний кабель характеризується співвідношенням діаметрів ядра й оболонки. Основні величини наведені в таблиці 3.2

Таблиця 3.2 – Основні співвідношення діаметрів ядра та оболонки

Ядро, мкм	Оптична оболонка, мкм
8	125
50	125
62,5	125
100	140

3.2 Ключові параметри ОВ-кабелів

Одним з найважливіших параметрів є *показник заломлення* n , визначення якого було надано в попередній главі. Виходячи з конструктивних особливостей та технологічних характеристик виробництва компонентів оптико-волоконних кабелів, показник заломлення оптичної оболонки зазвичай є постійною величиною – *const*, а показник заломлення ядра може бути змінною величиною. Це насамперед стосується градієнтних волокон. В випадку ж ступінчатого волокна така картина не спостерігається.

Змінний показник заломлення ядра знаходиться за наступним виразом:

$$n(r) = n_1 \cdot \sqrt{1 - 2\Delta \left(\frac{r}{R}\right)^q} \quad (3.1)$$

r – поточне значення радіусу

R – радіус ядра

n_1 – показник заломлення в центрі ядра (зазвичай 1.5)

q – показник ступеня, що визначає характер змінення $n=f(r)$, лежить в межах $\{1;\infty\}$

Δ – зазвичай 0.003-0.01

З виразу 3.1 очевидно що:

– при $q = \infty$

$$n(r) = \begin{cases} n_1, & \text{при } r \leq R \\ n_2, & \text{при } r > R \end{cases} \quad (3.2)$$

що відповідає ступінчатому профілю;

– при $q=2$, маємо показник заломлення, що відповідає найбільш поширеному волокну з параболічним профілем показника заломлення сердечника.

Наступним важливим параметром оптико-волоконних кабелів є *відносна різниця показників заломлення* – Δ :

$$\Delta = \frac{(n_1^2 - n_2^2)}{2n_1^2} \quad (3.3)$$

Різниця показників заломлення є вирішальним чинником для визначення значення числової апертури NA і ступеня додаткового загасання через мікро вигини.

Чисельна різниця показників оптичного ядра й оболонки як правило не велика й дорівнює 1%, таким чином відносна різниця показників заломлення коливається в межах 0,01-0,001 та вимірюється в разях.

Для нормальної роботи оптичного волокна показник заломлення ядра n_1 повинен бути більше показника переломлення оптичної оболонки n_2 .

Також ОВ характеризується *профілем показника заломлення*. Розподіл значень показника переломлення уздовж діаметра поперечного переріза оптичного волокна називають профілем показника заломлення. Розрізняють

оптичні волокна зі ступінчатим профілем, коли сердцевина й оптична оболонка мають однорідний (але різний!) показник заломлення, і з градієнтним профілем, коли показник заломлення ядра плавно зменшується від центра до країв. У градієнтних волокон відсутня різка зміна показника заломлення на границі ядра й оптичної оболонки, що характерно для ступінчатого профілю. Найчастіше у градієнтних волокнах профіль показника заломлення близький до параболи, такі оптичні світловоди називають параболічними. На рисунку 3.3 проілюстрований хід хвиль в волокнах з різним профілем заломлення.

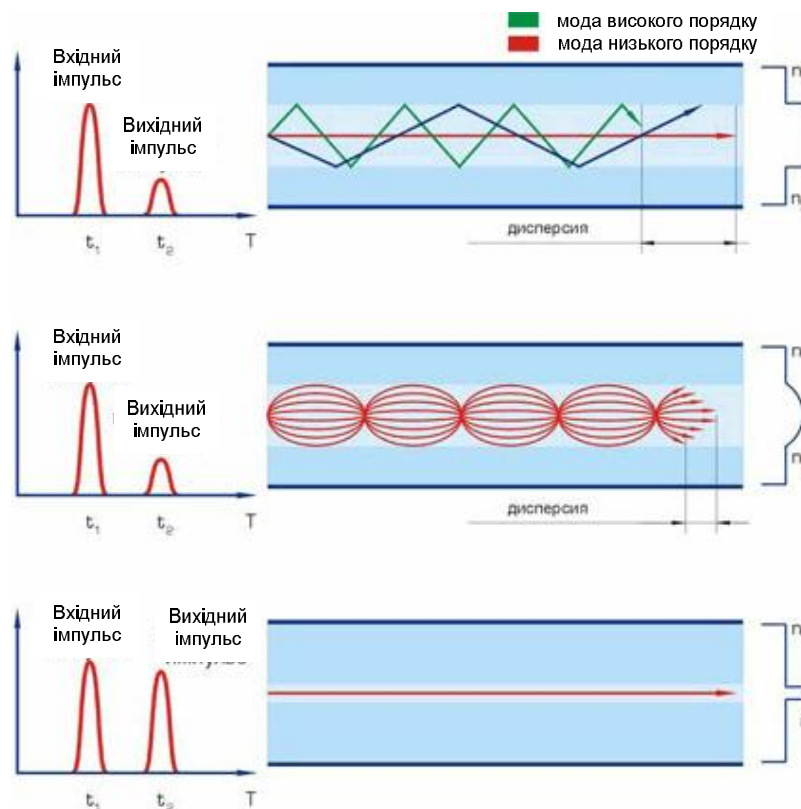


Рисунок 3.1 – Хід хвиль в волокнах з різним профілем

Для оптимізації роботи волокна на одній довжині хвилі використовується більше складна структура профілю.

Виходячи із цього існує поточне значення показника заломлення на конкретній ділянці ОВ (було розглянуто на початку пункту 3.2).

У ступінчатих світловодах показник заломлення в ядрі постійний та існує різкий перехід від n_1 ядра до n_2 оболонки, і промені зигзагподібно відбиваються від границі ядро-оболонка. Градієнтні світловоди мають безперервну плавну зміну показника заломлення в ядрі за радіусом світловода від центра до периферії, і промені поширюються по хвилеподібних траєкторіях.

Важливим параметром ОВ є *числова апертура*. Числова апертура – NA – пов'язана з максимальним кутом світла θ_A , що вводиться в волокно з довільного середовища, при якому світло зазнає повного внутрішнього віддзеркалення.

В загальному випадку визначається наступною формулою:

$$NA = \sin \theta_A \quad (3.4)$$

В випадку коли оптичне волокно має ступінчатий профіль показника заломлення, використовується нижче наведена формула, яка базується на використанні відносної різниці показників заломлення:

$$NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = n_1 \sqrt{2\Delta} \quad (3.5)$$

В випадку градієнтного показника профілю заломлення числова апертура дорівнює:

$$NA(r) = \sqrt{n_1^2(r) - n_2^2} \quad (3.6)$$

Для параболічного профілю використовується формула:

$$NA_{eff} = \sqrt{n_1^2(0) - n_2^2} / \sqrt{2} \quad (3.7)$$

Наведемо практичний приклад використання формул в задачі 3.1.

Задача №3.1

Визначити оптимальний кут вводу світла для градієнтного волокна якщо радіус ядра OB 50 мкм, поточне значення радіуса - 47 мкм, показник заломлення ядра дорівнює 1,45, $q=5$, показник заломлення оболонки 1,44.

Дано

$$R=50 \text{ мкм}$$

$$r=47 \text{ мкм}$$

$$n_1=1.45$$

$$n_2=1.44$$

$$q=5$$

$$n(r)=?$$

Розв'язання

1. Поточне значення показника визначається за формулою (3.1)

$$n(r) = n_1 \cdot \sqrt{\left[1 - 2\Delta \left(\frac{r}{R}\right)^q\right]}$$

2. Знайдемо значення відносної різниці показників заломлення

$$\Delta = \frac{(n_1^2 - n_2^2)}{2n_1^2} = \frac{1,45^2 - 1,44^2}{2 \cdot 1,45^2} = \frac{0,0289}{4,205} = 0,006873$$

3. Визначимо поточне значення показника заломлення

$$n(r) = n_1 \cdot \sqrt{\left[1 - 2\Delta \left(\frac{r}{R}\right)^q\right]} = 1,45 \cdot \sqrt{\left[1 - 2 \cdot 0,006873 \left(\frac{47}{50}\right)^5\right]} = 1,443$$

4. Значення числової апертури знайдемо за формулою (3.6)

$$NA(r) = \sqrt{n_1^2(r) - n_2^2} = \sqrt{1,443^2 - 1,44^2} = 0,093$$

5. За формулою (3.4) визначимо оптимальний кут введення світла в оптичне волокно:

$$\theta_A = \arcsin(NA) = \arcsin(0,093) = 5,33^\circ$$

Відповідь

Оптимальний кут введення світла в оптичне волокно складає $5,33^\circ$

3.3 Нормована частота, моди, хвиля відсічки

При розгляді процесу розповсюдження світла в волокні, необхідно розв'язувати рівняння Максвела. Саме в такому тлумаченні промені асоціюються з хвилями, причому різні типи хвиль – рішення рівнянь – називають модами. Моди позначають літерами E та H, з двома індексами – n та m. Індекс n характеризує азимутальні властивості хвиль (число змін поля по колу), m – радіальні (число змін поля за діаметром).

Інше визначення моди базується на наступних засадах. При попаданні світла від зовнішнього джерела на торець світловода в ньому збуджуються кілька хвиль (променів), які поширюються по світловоду незалежно від

вихідного променя. Можливі (дозволені) власні світлові хвилі, які поширюються в оптоволокні, називають модами. *Мода – можлива траєкторію проходження світлового променя оптоволоконом .* *Оптоволоконно, у якому в ідеальному випадку може існувати тільки одна мода (промінь), називається одномодовим оптоволоконом.* Такий ефект досягається за рахунок використання джерел когерентного випромінювання (лазерів) і при діаметрі серцевини оптоволоконна, порівнянного з довжиною хвилі ($d/\lambda < 10$). Для одномодового волокна діаметр ядра становить 8-10 мкм. У характеристиках одномодових оптичних волокон замість терміна "діаметр серцевини" часто використовують термін "діаметр поля моди". Зовнішній діаметр оболонки одномодових оптичних волокон ідентичний зовнішньому діаметру оболонки багатомодових оптичних волокон – 125 мкм. Маркування виконується аналогічним чином, наприклад, 9/125 мкм.

В багатомодовому волокні, внаслідок порівняно великого діаметра серцевини і використанні некогерентних джерел випромінювання, можливе існування великої кількості мод. Промислові багатомодові світловоди для ВОЛЗ мають діаметр серцевини 50 або 62,5 мкм, зовнішній діаметр оболонки світловода в обох випадках становить 125 мкм. Відповідно, світловоди маркують 50/125 мкм й 62,5/125 мкм.

Залежно від структури світловода розглядають різні механізми поширення:

1. Багатомодові світловоди зі ступінчатим профілем показника заломлення. Повне внутрішнє відбиття має місце, якщо випромінювання падає на границю під кутом меншим, чим $2\alpha_{\text{max}}$ (кут введення світлових променів у хвилевід).

2. Одномодові світловоди зі ступінчастим профілем показника заломлення. Діаметр серцевини 5-10 мкм зумовлює поширення тільки однієї моди, при цьому теоретично ширина смуги передачі $B > 100$ ГГц. Виготовлення вкрай малого діаметра серцевини вимагає дуже великої

точності, при цьому виникає проблема уведення випромінення в оптичне волокно.

3. Багатомодові світловоди з градієнтним профілем показника заломлення. Показник заломлення в області серцевини безупинно зменшується від середини до краю. Випромінювання за рахунок заломлення хвилеподібно поширюється біля осі оптичного волокна. Оскільки всі промені мають приблизно однаковий час поширення, то градієнтні волокна мають велику ширинупропускання.

Оцінити режим роботи ОВ можна використовуючи наступний параметр – нормовану частоту:

$$V = \pi * d * NA / \lambda \quad (3.8)$$

Якщо значення V менше 2,405 ОВ працює одномодовому режимі (випадок ступінчатого ОВ).

У випадку ОВ із градієнтним (параболічним профілем), Якщо V не досягає значення 3,53 то також спостерігається одномодовий режим роботи.

Число мод в багатомодовом ОВ визначається виходячи з наступних співвідношень:

– для ступінчатого профіля

$$N_m = \frac{1}{2} V^2 = \frac{1}{2} \left(\frac{\pi d}{\lambda} NA \right)^2 = \frac{1}{2} \left(\frac{\pi d}{\lambda} \right)^2 (n_1^2 - n_2^2) \quad (3.9)$$

– для градієнтного

$$N_m = \frac{1}{4} V^2 = \frac{1}{4} \left(\frac{\pi d}{\lambda} \right)^2 (n_1^2 - n_2^2) \quad (3.10)$$

Наведемо задачу, яка ілюструє використання вище наведених співвідношень.

Задача №3.2

Визначити кількість мод що поширюються в ОВ із градієнтним профілем заломлення, якщо задані наступні величини: діаметр ядра – 50 мкм, поточний діаметр – 47,5 діаметр оболонки – 125 мкм, коефіцієнт переломлення ядра – 1,5, оптичної оболонки – 1,47, довжина хвилі – 1,3 мкм, $q=6$.

Дано:

$$D=125 \text{ мкм}$$

$$d=50 \text{ мкм}$$

$$d'=47,5 \text{ мкм}$$

$$n_1=1.5$$

$$n_2=1.47$$

$$q=5$$

Визначити кількість мод

Розв'язання

Кількість мод для ОВ (градієнтний профіль) визначається за формулою (3.10)

$$N_m = \frac{1}{4} V^2$$

Нормована частота в загальному випадку знаходиться за формулою (3.8)

$$V = \pi * d * NA / \lambda$$

Числова апертура для градієнтного волокна (3.6)

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

Поточне значення показника заломлення за формулою (3.1)

$$n(r) = n_1 \cdot \sqrt{\left[1 - 2\Delta \left(\frac{r}{R}\right)^q\right]}$$

1. Знайдемо значення відносної різниці показників заломлення

$$\Delta = \frac{(n_1^2 - n_2^2)}{2n_1^2} = \frac{1,5^2 - 1,47^2}{2 \cdot 1,5^2} = \frac{0,0891}{4,5} = 0,0198$$

2. Наразі знайдемо значення показника заломлення:

$$n(r) = n_1 \cdot \sqrt{\left[1 - 2\Delta \left(\frac{r}{R}\right)^q\right]} = 1,5 \cdot \sqrt{\left[1 - 2 \cdot 0,0198 \left(\frac{47,5}{50}\right)^5\right]} = 1,48$$

3. Знайдемо числову апертуру

$$NA = \sqrt{n_1^2(r) - n_2^2} = \sqrt{1,48^2 - 1,47^2} = 0,1718$$

4. Знайдемо нормовану частоту

$$V = \pi * d * NA / \lambda = 3,14 * 47,5 * 0,1718 / 1,3 = 19,7$$

5. Знайдемо кількість мод

$$N_m = \frac{1}{4}V^2 = \frac{19,7^2}{4} = \frac{388,09}{4} = 98$$

Відповідь

Кількість мод що може розповсюджуватися в оптичному волокні становить 98.

І останнім важливим параметром є хвиля відсічки. *Мінімальна довжина хвилі, при якій волокно підтримує тільки одну моду що розповсюджується, називається довжиною хвилі відсічки.*

Розрізняють волоконну λ_{CF} та λ_{CCF} кабельну довжину хвилі відсічки. Волоконна довжина хвилі відсічки визначають за формулою:

$$\lambda_{CF} = \pi dNA / 2,405 = 1,847 dn_1 \sqrt{\Delta} \quad (3.11)$$

Кабельну довжину хвилі можна визначити лише експериментальним шляхом.

4 ДИСПЕРСІЯ ТА ЗАГАСАННЯ ОПТИЧНОГО СИГНАЛУ В ОПТИЧНИХ ВОЛОКНАХ

В роботі оптично волоконних ліній зв'язку окрім явних переваг є низка негативних чинників які істотно впливають на якість надаваних послуг з передачі сигналів.

4.1 Дисперсія в оптичних волокнах

Кожна мода має характерні для неї структуру електромагнітного поля, а також фазову й групову швидкість. Для електромагнітних хвиль, що вільно поширюються, обидві швидкості еквівалентні й дорівнюють швидкості світла, у той час як для електромагнітних хвиль, що переміщуються в оптоволокні, величини фазової й групової швидкості різні й залежать від частоти коливань, матеріалу оптоволокна і його геометричних параметрів. Наслідком впливу цих факторів є дисперсія. Отже наведемо визначення дисперсії: *дисперсія* – розсіювання спектральних та модових складових оптичного випромінювання в оптичному кабелі з часом. Виникнення явища дисперсії в оптичному волокні пов'язано з неоднорідною структурою ядра та оптичної оболонки. На рисунку 4.1 наведено графічне відображення різновидів дисперсії.

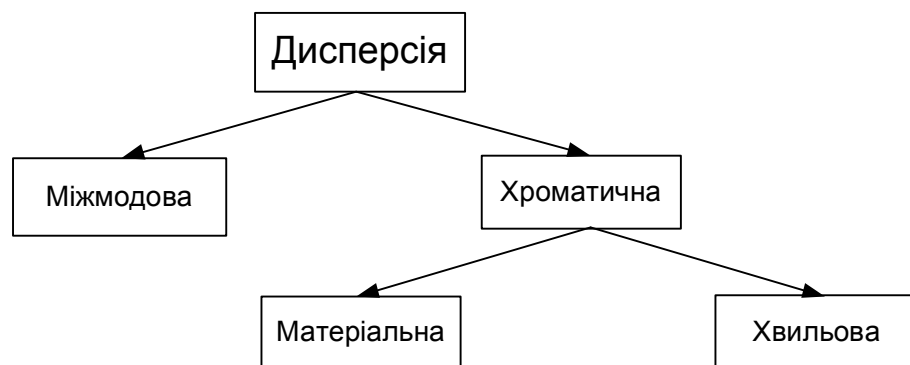


Рисунок 4.1 – Різновиди дисперсії

Як видно з рисунка 4.1 розрізняють наступні види дисперсії:

- матеріальну (молекулярну) дисперсію, обумовлену залежністю показника переломлення матеріалу световода від довжини хвилі випромінювання;
- хвильову дисперсію, обумовлену довжиною хвилі в оптичному хвилеводі й фактично залежну від сукупності таких геометричних параметрів оптоволокна, як відхилення від круглої форми перетину, мінливість діаметра, неспіввісність ядра й оболонки, мінливість показника переломлення по довжині оптоволокна;
- міжмодову (модову) дисперсію, що є результатом різної швидкості поширення мод у багатомодовому волокні.

Моди характеризуються тим, що після двох послідовних перевідбиттів від границі серцевини й оптичної оболонки їхні електромагнітні поля виявляються у фазі. Якщо ця умова не дотримується, то хвилі, інтерферуючи, гасять один одного.

В загальному випадку дисперсію можна оцінити за формулою:

$$\tau(L) = \frac{\sqrt{t_{out}^2 - t_{in}^2}}{L}, \text{ пс/км} \quad (4.1)$$

або якщо відомі значення хроматичної та модової дисперсій:

$$\tau^2 = \tau_{\text{mod}}^2 + \tau_{\text{chr}}^2 = \tau_{\text{mod}}^2 + (\tau_{\text{mat}} + \tau_{\text{w}})^2 \quad (4.2)$$

Для визначення модової дисперсії користуються наступними формулами:

для ступінчатого профіля

$$\tau_{\text{mod}s} = \begin{cases} \frac{n_1 \cdot \Delta}{c} L, & L \leq L_c \\ \frac{n_1 \cdot \Delta}{c} \sqrt{L \cdot L_c}, & L > L_c \end{cases} \quad \text{при } L_c \approx 5 \text{ км} \quad (4.3)$$

для градієнтного профіля

$$\tau_{\text{mod}g} = \begin{cases} \frac{n_1 \cdot \Delta^2}{2c} L, & L \leq L_c \\ \frac{n_1 \cdot \Delta^2}{2c} \sqrt{L \cdot L_c}, & L > L_c \end{cases} \quad \text{при } L_c \approx 10 \text{ км} \quad (4.4)$$

Для визначення хроматичної дисперсії користуються наступними формулами:

В загальному випадку:

$$\tau_{\text{chr}} = \tau_{\text{mat}} + \tau_w \quad (4.5)$$

Матеріальна складова:

$$\tau_{\text{mat}}(\Delta\lambda, L) = \Delta\lambda \cdot L \frac{\lambda \cdot d^2 \cdot n_1}{c \cdot d \cdot \lambda^2} = \Delta\lambda \cdot L \cdot M(\lambda) \quad (4.6)$$

Хвильова складова:

$$\tau_w = \frac{\Delta\lambda \cdot L \cdot 2 \cdot n_1 \cdot \Delta}{c \cdot \lambda} = \Delta\lambda \cdot L \cdot N(\lambda) \quad (4.7)$$

де прийняті наступні умовні позначки:

$M(\lambda)$, $N(\lambda)$ – питомі матеріальна та хвильові дисперсії;

$\Delta\lambda$ – розширення імпульсів в випадку некогерентності джерела випромінювання.

Окрім вищенаведених методів визначення дисперсії існують й інші формули для її розрахунку:

Результуюча питома смуга пропускання

$$W = 0,44 / \tau \quad (4.8)$$

Хроматична дисперсія

$$\tau_{chr} = D(\lambda) \cdot \Delta\lambda \cdot L \quad (4.9)$$

$D(\lambda) = M(\lambda) + N(\lambda)$ – питомий коефіцієнт хроматичної дисперсії

Полярізаційна дисперсія

$$\tau_{pmd} = T \cdot \sqrt{L} \quad (4.10)$$

T – питомий коефіцієнт поляризаційної модової дисперсії, нормований на 1 км (пс/км^{1/2})

З огляду на дисперсію, всі існуючі одномодові волокна розбиваються на три основних типи: волокна з незміщеною дисперсією SF, волокна зі зміщеною дисперсією DSF і волокна з ненульовою зміщеною дисперсією NZDSF.

Всі три типи волокон дуже близькі по загасанню у вікнах 1310 й 1550 нм, але відрізняються характеристиками хроматичної дисперсії. Оскільки дисперсія впливає на максимальну довжину ВОЛЗ, то виникає бажання вибрати волокно з найменшим можливим значенням дисперсії стосовно до конкретного завдання й до конкретної довжини хвилі. Найкращий режим поширення з погляду дисперсії досягається в околиці довжини хвилі 1310 нм, коли хроматична дисперсія згортається в нуль. З погляду втрат це не найкраще вікно прозорості - втрати в ньому становлять 0,3-0,4 дБ/км, а найменше загасання 0,2-0,25 дБ/км досягається у вікні 1550 нм

4.2 Загасання сигналу в оптоволоконному тракті

Загасання – втрата оптичної енергії помірі в міру руху світла по волокну. Вимірюється в децибелах на кілометр, змінюється в межах від 300 дБ/км для пластикового волокна, та до 0,2 дБ/км для одномодового волокна. Природу загасання проілюстровано рисунком 4.2.

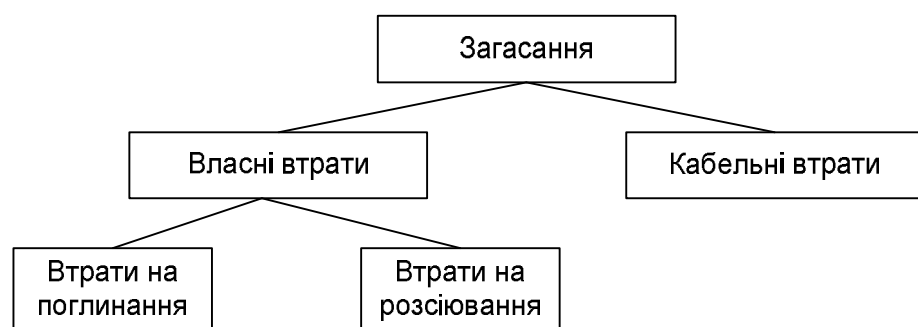


Рисунок 4.2 – Класифікація втрат та загасання в ВОЛЗ

Загасання залежить від довжини хвилі випромінювання, що вводиться у волокно. У цей час передача сигналів по волокну з у трьох діапазонах: 850 нм, 1300 нм, 1550 нм, тому що саме в цих діапазонах кварц має підвищену

прозорість. Загасання звичайно вимірюється в дБ/км і визначається втратами на поглинання й на розсіювання випромінювання в оптичному волокні:

- релеевське розсіювання;
- розсіювання на дефектах волокна;
- власне поглинання кварцового скла;
- примісне поглинання;
- поглинання на мікро й макровигинах.

Загальне загасання в оптичному волокні оцінюють за формулою:

$$\alpha = \alpha_{\text{int}} + \alpha_{\text{rad}} = \alpha_{\text{abs}} + \alpha_{\text{sct}} + \alpha_{\text{rad}} \quad (4.11)$$

- α_{abs} – втрати на поглинання, які складаються як із власних втрат в кварцевому склі (ультрафіолетове та інфрачервоне поглинання), так і з втрат, пов'язаних із поглинанням світла на домішках.
- α_{sct} – втрати на розсіюванні визначаються параметрами релеевського розсіювання, та залежать від довжини хвилі і сильно проявляються в області коротких довжин хвиль
- α_{rad} – кабельні (радіаційні) втрати зумовлені скруткою, деформаціями і згибами волокон, що виникають при накладанні покриттів і захисних оболонок під час виробництва і інсталяції кабелю.

У цей час у техніці зв'язку в основному застосовуються кварцові ОВ, область ефективного використання яких перебуває в діапазоні довжин хвиль до 2 мкм. На більше довгих хвилях в якості матеріалу для волокна використовуються галоїдні, халькогенідні й фторидні домішки в кварцевому склі. У порівнянні із чисто кварцевими волокнами вони мають більшу прозорість і забезпечують зниження втрат на кілька порядків. З появою ОВ з нових матеріалів стає реальним створення ВОЛЗ без ретрансляторів.

5 ПАСИВНІ ТА АКТИВНІ КОМПОНЕНТИ ВОЛЗ

5.1 Пасивні компоненти ВОЛЗ

В сучасній техніці зв'язку існує багато різновидів пасивних компонентів ВОЛЗ. Глобально їх можна розділити на дві категорії – роз'ємні та нероз'ємні. На рисунку 5.1 проілюстрована класифікація типів з'єднань та пристроїв.

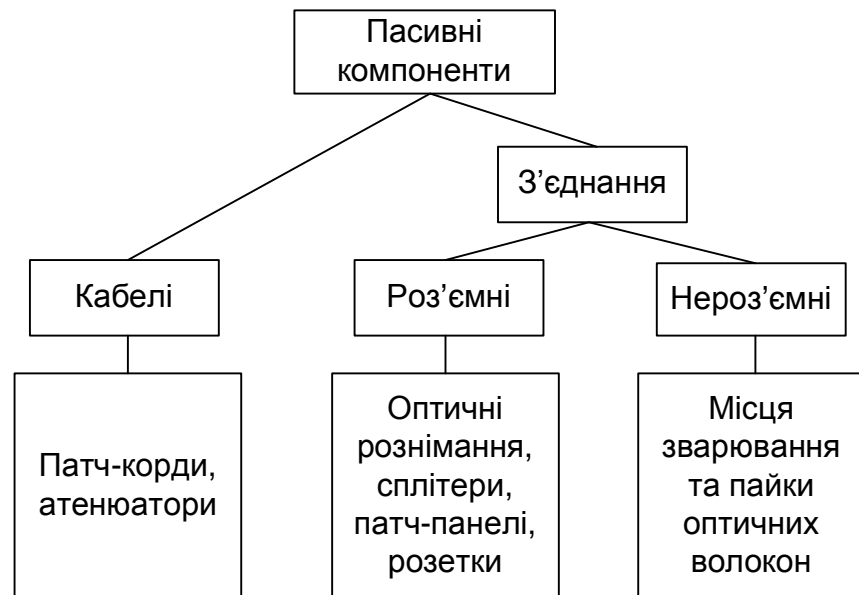


Рисунок 5.1 – Класифікація пасивних компонентів

В першу чергу розглянемо нероз'ємні типи з'єднань. Вони представляють собою зварні стики отримані термічним способом. Метою зварювання є створення постійного з'єднання оптичних волокон ОК з низькими втратами передачі оптичного випромінювання через місце з'єднання.

Для зварних з'єднань типовий діапазон втрат становить 0,02-0,1 дБ як для одномодових, так і для багатомодових волокон.

На якість звареного з'єднання впливають безліч факторів, серед яких основними є:

- втрати що вносяться на місці зварювання;
- міцність на розтягання.

Ці параметри визначаються розбіжністю діаметрів волокон і числових апертур, розбіжністю показників заломлення, неконцентричністю серцевини й оболонки. Крім того, у процесі зрощування можуть виникати поздовжні й кутові зсуви, забруднення й деформація сердечника, однак, вплив цих факторів може бути зведений до мінімуму за рахунок використання сучасних автоматичних зварювальних апаратів і навченого персоналу.

Процес зварювання полягає в зближенні волокон з попередньо підготовленими торцевими поверхнями на задану відстань, центруванні осей волокон уздовж осі абсцис і наступному створенні дугового розряду між електродами. При цьому підготовка торцевих поверхонь здійснюється сколювачем, параметри якого мають велике значення, тому що вони визначають перпендикулярність отриманої в результаті відколу поверхні до осі волокна, що є істотним чинником при зварюванні ОВ.

На типах роз'ємних з'єднань слід зупинитися більш докладно.

5.1.1 Роз'ємні з'єднання

При з'єднанні одностипних волокон ефективним є з'єднання торець у торець (core to core), що може бути реалізовано тільки при забезпеченні строгої співвісності волокон, ідентичності геометрії, а також високого ступеня гладкості й перпендикулярності торцевих поверхонь до осі волокна.

Втрати, що вносяться механічним з'єднувачем, визначаються дефектами сполучення, що викликані радіальним, кутовим й осьовим зсувом

волокон, що з'єднуються. При створенні механічних з'єднувачів основна увага приділяється мінімізації радіального й кутового зсуву. Це досягається, з одного боку, використанням високоякісних сколювачів, що забезпечують перпендикулярність відколу волокна з точністю до 1 градуса, а з іншого боку - шарнірних елементів, що центрують (Fibrlok фірми 3М) або напрямних, що мають V-образну форму (Corelink фірми 3М). Крім того, у механічних з'єднувачах використовується імерсійний гель що погоджує середовище одне з іншим. Такі конструкції забезпечують типові значення втрат що дорівнює 0,2-0,5 дБ для багатомодових волокон та 0,2-1 дБ для одномодових волокон при відбитті, що не перевищує -45 дБ (Fibrlok) і -55 дБ (Corelink). Кількість циклів з'єднання становить більше 10, а час з'єднання після підготовки волокон не перевищує 30 сек. Діапазон робочих температур даних з'єднувачів лежить у межах від -40 С до +80 °С.

Основною конструкцією роз'ємних з'єднувачів є штекерний наконечник, що вставляється в юстировочний елемент у вигляді втулки, а сам з'єднувач складається із двох частин: вилки (конектора) і розетки (адаптера).

Більшість роз'ємних з'єднань містить наступні елементи:

- наконечник (ferrule) – використовується для фіксації волокон у розніманні;
- сполучна гільза – використовується для сполучення наконечників, є частиною адаптера;
- антиобертальний механізм – запобігає обертання наконечників, не допускаючи руйнування волокна;
- пружинний механізм – забезпечує необхідне зусилля стиску наконечників;
- система гасіння натягу – передає зусилля натягу кабелю на несучу конструкцію рознімання;
- адаптер (для з'єднання двох волокон використовується гільза, що входить до складу адаптера).

Оптичні з'єднувачі виготовляються як для багатомодових (БМ) так і для одномодових (ОМ) волокон. ОМ варіант відрізняється в основному більше твердими допусками на геометричні розміри наконечника й центруючи елементів. В таблиці 5.1 зведені основні параметри ключових типів роз'ємних з'єднувачів.

Таблиця 5.1 – Ключові параметри основних типів рознімних з'єднувачів

Тип конектора	Матеріал кінцевика	Середні втрати, дБ на $\lambda=1$, мкм	
		ММ (62,5/125)	ОМ
ST	Кераміка	0,25	0,3
SC	Кераміка	0,2	0,25
FC	Кераміка	0,2	0,6
Біконічний	Пластмаса	0,7	-
SMA	Сталь	1,0	-
MIC	кераміка	0,3	0,4

В якості основних параметрів оптичних з'єднувачів можна зазначити наступні:

- внесені втрати (insertion loss) $IL = -10 \lg D = -10 \lg P_{out}/P_{in}$, дБ, P_{out} і P_{in} – потужності на виході й вході з'єднання, $D = P_{out}/P_{in}$ – коефіцієнт передачі оптичної потужності при торцевому з'єднанні;
- втрати на зворотному відбитті або просто зворотні втрати $b = 10 \lg R = 10 \lg P_{отр}/P_{пад}$, дБ;
- $P_{отр}$ – інтенсивність відбитого випромінювання;
- $P_{пад}$ – інтенсивність падаючого випромінювання;
- $R = P_{отр}/P_{пад}$ - коефіцієнт зворотного відбиття.

Залежно від коефіцієнта зворотного відбиття одномодові з'єднувачі поділяються на класи:

- PC (physical contact – скло світловода одного конектора притиснуто до скла іншого) <-30дб;
- Super PC <-40дб;

- Ultra PC <-50дб;
- Angled PC <-60дб.

В додатку А приведені основні типи та параметри роз'ємних з'єднувачів.

5.2 Активні компоненти ВОЛЗ

До активних компонентів ВОЛЗ можна віднести наступні пристрої:

- оптичні приймачі;
- оптичні передавачі;
- оптичні комутатори;
- оптичні маршрутизатори;
- оптичні мультиплексори;
- оптичні підсилювачі;
- мультимедіаконвертори та інш..

Все це обладнання має різні функції, але базуються на використанні двох основних пристроїв – оптичних передавачів та оптичних приймачів. На них слід зупинитися більш докладніше.

5.2.1 Оптичні передавачі

Передавальний оптоелектронний модуль (ПОМ) або оптичний передавач забезпечує перетворення вхідного електричного (цифрового або аналогового) сигналу у вихідний оптичний сигнал.

Передавальні оптоелектронні модулі містять у собі джерело випромінювання, електронні схеми для стабілізації режимів роботи джерела випромінювання (лазерного діода), оптичний з'єднувач або відрізок оптичного кабелю. Виконані в єдиному конструктивному блоці.

Головним елементом передавального оптоелектронного модуля (ПОМ) є джерело випромінювання, до якого пред'являються наступні основні вимоги:

- випромінювання повинне вестися на довжині хвилі одного з вікон прозорості волокна, де досягаються менші втрати світла при поширенні;
- джерело повинно витримувати необхідну частоту модуляції для забезпечення передачі інформації на необхідній швидкості;
- джерело повинно бути ефективним, тобто більша частина випромінювання джерела повинна попадати в ОВ з мінімальними втратами;
- температурні варіації не повинні позначатися на функціонуванні джерела випромінювання.

На сьогоднішній день використовуються два типи джерел випромінювання: світлодіод й лазерні діоди (рисунок 5.2). Головна їхня відмінність полягає у ширині спектра випромінювання.

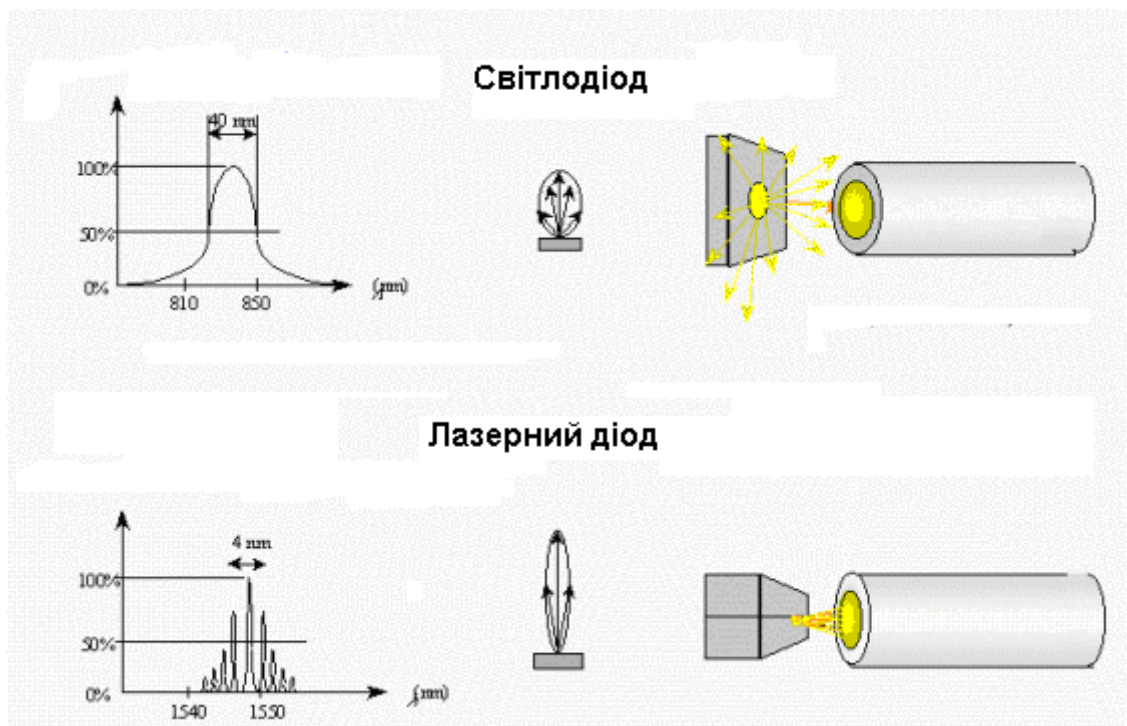


Рисунок 5.2 – Лазерний діод та світло діод

Принцип роботи напівпровідникових джерел заснований на явищі електролюмінісценції – випромінюванні світла матеріалом, через який протікає електричний струм, викликаний електричним полем. Випромінювання внаслідок електролюмінісценції (на відміну від теплового) характеризується порівняно вузьким спектром шириною в 10...50 нм для світло діодів і 0,1...3 нм для лазерних діодів.

Світлодіоди – прилади на основі р-п переходу, які при прямій напрузі зсуву можуть випускати спонтанне випромінювання в УФ, видимій (використовують як індикатори) або ІЧ (використовують в оптронах і ВОСП) областях електромагнітного спектра.

Інакше кажучи, принцип роботи заснований на випромінювальній рекомбінації носіїв заряду в активній області гетероструктури при пропущенні через неї струму. Носії заряду-електрони й дірка – проникають в активний шар (гетероперехід) із прилягаючих пасивних шарів (р- і п-шару) внаслідок подачі напруги на р-п структуру й потім випробовують спонтанну рекомбінацію, що супроводжується випромінюванням світла. Випромінювання некогерентне, відбувається безпосередньо в області р-п переходу й рівномірно поширюється в усіх напрямках.

Показник заломлення активного шару вище обмежуючих пасивних шарів, завдяки чому рекомбінаційне випромінювання може поширюватися в межах активного шару, випробовуючи багаторазове відбиття, що значно підвищує ККД джерела випромінювання. В таблиці 5.2 приведені основні матеріали що використовуються при виробництві світлодіодів.

Таблиця 5.2 – Основні матеріали та їх характеристики

для $\lambda = 0,85$ мкм ($\Delta\lambda 0,5 = 35$ нм)	GaAs – арсенід галію
для $\lambda = 1,3$ мкм ($\Delta\lambda 0,5 = 110$ нм)	GaInAsP – чотирьохелементні напівпровідники
для $\lambda = 1,55$ мкм ($\Delta\lambda 0,5 = 150$ нм)	

Довжину хвилі випромінювання λ_0 визначають як значення, що відповідає максимуму спектрального розподілу потужності. $\Delta\lambda_{0,5}$ - ширина спектра випромінювання на рівні половини максимальної потужності випромінювання джерела.

Гетерогенні структури можуть створюватися на основі різних напівпровідникових матеріалів. Звичайно як підложки використовуються GaAs і InP. Состав активного матеріалу вибирається залежно від довжини хвилі випромінювання й створюється за допомогою напилювання на підложку.

Наступний тип апаратних пристроїв – напівпровідникові лазерні діоди. Лазерні діоди (ЛД) – генератори випромінювання, когерентного в просторі й у часі, тобто випромінювання ЛД монохроматично й зосереджене у вузькому пучку. ЛД істотно відрізняються від лазерів інших типів. Нижче наведемо основні відмінності:

- у звичайних лазерах квантові переходи відбуваються між дискретними енергетичними рівнями, тоді як у ЛД переходи здійснюються між енергетичними зонами;
- напівпровідникові ЛД мають дуже малі розміри (близько 0,1 мм у довжину) і тому що активна область у них дуже вузька, розбіжність лазерного променя значно більше, ніж у звичайного лазера;
- просторові й спектральні характеристики випромінювання ЛД сильно залежать від властивостей матеріалу, з якого зроблений перехід;
- у лазері з р-n переходом випромінювання виникає безпосередньо під дією струму, що протікає через прямо зміщений діод;
- модуляція ЛД-ОВ може проходити на дуже високих частотах, тому що вони характеризуються дуже малим часом стимульованого випромінювання;

- робота ЛД пов'язана із трьома основними процесами, обумовленими переходами носіїв: поглинанням, спонтанною емісією й стимульованим випромінюванням.

Лазерні діоди (ЛД) на відміну від світловодів мають 2 головні конструктивні відмінності:

1. ЛД має убудований оптичний резонатор;
2. Працює при більших струмах накачування, що дозволяє при перевищенні граничного значення одержати режим індукованого випромінювання. Таке випромінювання характеризується високою когерентністю (ширина спектра ЛД 1-2нм, СД 30-50нм).

На довжині хвилі 1,55 напівтемна питома хроматична дисперсія в SMF становить 17 пс/нм*км. Виходячи з того що смуга пропускання обернено пропорційна ширині спектра випромінювання, то збільшити смугу пропускання можна тільки зменшуючи ширину спектра випромінювання лазера. При $\Delta\lambda = 4\text{нм}$ смуга пропускання на 100км становить 63 МГц, а при $\Delta\lambda = 0,2\text{нм}$ 1260 МГц.

У цей час стало можливим також застосування нових, більше дешевих випромінювачів, що мають більше вузьку діаграму спрямованості з великою інтенсивністю випромінювання. Таким джерелом оптичного випромінювання є VCSEL (Vertical Cavity Surface Emitting Laser) — Лазер поверхневого випромінювання з вертикальним об'ємним резонатором, що працює на довжині хвилі 850 нм і 1300 нм. Застосування даного джерела випромінювання буде особливо економічно вигідним на довжині хвилі 850 нм.

Перевагами VCSEL є:

- технологічність виробництва випромінювача;
- зниження ціни в порівнянні з лазерним діодом;
- вузькоспрямований спектр оптичного випромінювання.

Найбільшого поширення в якості випромінювачів отримали лазерні діоди наступних типів:

- ЛД із резонатором Фабри-Перо (FPR),
- ЛД із розподіленим зворотним зв'язком (DFB),
- ЛД із розподіленим брэгговским відбиттям (DBR),
- с зовнішнім резонатором.

5.2.2 Оптичні приймачі

Прийомний оптоелектронний модуль (ПрОМ) або оптичний приймач забезпечує перетворення вхідного оптичного сигналу у вихідний електричний (цифровий або аналоговий) сигнал.

Основними функціональними елементами (ПрОМ) є:

- фотоприймач, що перетворить отриманий оптичний сигнал в електричну форму;
- каскад електричних підсилювачів, що підсилюють сигнал і перетворюють його у форму, придатну до обробки;
- демодулятор, що відтворює первісну форму сигналу.

Головним елементом прийомного оптоелектронного модуля є – фото прийомний діод.

В основі роботи фотоприймача лежить явище внутрішнього фотоефекта, при якому в результаті поглинання фотонів з енергією, що перевищує енергію забороненої зони, відбувається перехід електронів з валентної зони в зону провідності (генерація електронно-дірочних пар). При наявності електричного потенціалу з появою електронно-дірочних пар від впливу оптичного сигналу з'являється електричний струм, зумовлений рухом електронів у зоні провідності й дірок у валентній зоні. Ефективна реєстрація генеруємих електронно-дірочних пар забезпечується шляхом поділу носіїв заряду, для чого використовується конструкція з р-n переходом (р-і-n фотодіоди (ФД), лавинні фотодіоди (ЛФД), фототранзистори). р-n перехід включений у зворотному напрямку.

6 ПРИКЛАД РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ ВОЛОКОННО- ОПТИЧНИХ ЛІНІЙ ЗВ'ЯЗКУ

При розрахунку параметрів волоконно-оптичних ліній зв'язку як правило оцінюють дисперсію в оптичному волокні за кожним напрямком та енергетичний потенціал ліній.

Відомо, що в одномодових ВОЛЗ застосовуються цифрові методи передачі інформації. Основним критерієм якості будь-якої цифрової лінії зв'язку є вірогідність передачі інформації, що оцінюється інтенсивністю бітових помилок BER (Bit Error Rate). BER визначається як відношення неправильно прийнятих біт інформації до повного числа переданих біт і на практиці не повинно перевищувати 10^{-9} . У реальних ВОЛЗ значення BER визначається енергетичними параметрами (оптичний бюджет) і широкосмугістю лінії (величина дисперсії).

Енергетичний бюджет E волокон по оптичній лінії зв'язку визначається в такий спосіб:

$$E = 10 \lg(P_{\text{онт}} / S_{\text{пор}}). \quad (6.1)$$

де $P_{\text{онт}}$ – вихідна потужність передавача;

$S_{\text{пор}}$ – чутливість приймача.

Одиницею виміру цих величин є дБм – виражена в логарифмічних одиницях потужність щодо рівня в 1 міліват. Прагнення розроблювача забезпечити максимальну величину E в найпростішому випадку може бути досягнуто вибором пари передавач/приймач із максимальними значеннями вихідної потужності й граничної чутливості. Однак на практиці необхідно приймати до уваги міркування економічної доцільності: ціни на моделі передавачів і приймачів з ростом $P_{\text{онт}}$ й $S_{\text{пор}}$ значно зростають. Крім того, прагнення використати приймач із необґрунтовано високою чутливістю в реальних умовах експлуатації за рахунок впливу зовнішніх перешкод може

привести до порушення, помилковим спрацьовуванням й, відповідно, зниженню BER.

Очевидно, що енергетичний бюджет ВОЛЗ повинен перевершувати суму втрат на шляху передачі сигналу від передавача до оптичного приймача, включаючи деякий запас потужності. Визначення цього запасу - одне з найбільш важливих завдань при проектуванні ВОЛЗ.

Кращі зразки одномодового волокна мають дуже мале загасання світлового сигналу – порядку 0,2 дБ/км на довжині хвилі 1,55 мкм. Енергетичний розрахунок одномодової ВОЛЗ показує, що на існуючих апаратурах можлива побудова лінії зв'язку довжиною до 100 км без регенерації сигналів. Однак енергетичний розрахунок не враховує явища дисперсії – розширення тривалості оптичного імпульсу в міру його поширення по оптоволокну. Тривалість отриманих приймачем імпульсів не повинна перевищувати бітовий інтервал, що зв'язаний зі швидкістю передачі сигналів (бітрейтом) B_0 співвідношенням:

$$T_0 = 1/B_0 . \quad (6.2)$$

Якщо ця умова не буде дотримуватися, то відбудеться накладення сусідніх імпульсів один на одного, приймач не зможе їх розпізнати й у результаті збільшиться BER. Для того щоб при передачі сигналу зберігалось необхідне значення BER, необхідно, щоб смуга пропускання волокна на довжині хвилі передачі перевершувала частоту модуляції оптичного сигналу. На практиці смуга пропускання одномодової ВОЛЗ повинна вдвічі перевершувати бітрейт, оскільки в цифрових оптичних передавачах використовуються різні види модуляції - модуляція без повернення до нуля (NRZ) і з поверненням до нуля (RZ). Відмінність полягає в тім, що в NRZ-форматі імпульс, що позначає 1, займає весь виділений для її передачі період, а в RZ-форматі - тільки деяку частину періоду, наприклад 50%. Виробники,

як правило, не вказують вид модуляції в специфікаціях на апаратуру, і запас за смугою пропускання буде гарантувати коректну роботу.

Проведемо розрахунок параметрів оптичної лінії, що використовуються на транспортній мережі з використанням технологією SDH STM-1 в відповідності до поданої вище методики. Загальні вихідні дані зведені в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 – Вихідні дані для розрахунку

Параметр	Величина
Кілометричне загасання в ОВ – α , дБ/км	0,22
Втрати на нероз'ємних з'єднаннях – $A_{нс}$, дБ	0,05
Втрати на роз'ємних з'єднаннях – $A_{рс}$, дБ	0,2
Експлуатаційний запас кабеля – $A_{езк}$, дБ	3
Експлуатаційний запас апаратури – $A_{еза}$, дБ	3
Потужність передавача – $P_{онт}$, дБм	2
Чутливість приймача – $S_{пор}$, дБм	15
Робоча довжина хвилі – λ , мкм	1,55
Максимальна ширина спектра випромінення передатчика – $\Delta\lambda$, нм	0,5
Швидкість передачі – B_0 , Мбіт/с	155
Питома хроматична дисперсія $D(\lambda=1,55 \text{ мкм})$, пс/нм•км	5,5
Коефіцієнт поляризаційної модної дисперсії $T(\lambda)$, пс/км ^{1/2}	0,04
Довжина лінії L , км	22,5
Кількість нероз'ємних з'єднань $n_{нс}$	7
Кількість роз'ємних з'єднань $n_{рс}$	4

Для нормального функціонування ВОЛЗ необхідно, щоб тривалість імпульсу τ_L на вході приймача не перевищувала вихідний бітовий інтервал при його потужності, рівній чутливості приймача $S_{пор}$.

Розрахуємо значення хроматичної дисперсії за формулою (4.9):

$$\tau_{chr \max} = \Delta\lambda \cdot L \cdot D(\lambda) = 0.5 \cdot 22.5 \cdot 5.5 = 61.9, \text{пс} .$$

Поляризаційна модова дисперсія розраховується за формулою (4.10):

$$\tau_{pmd} = T \cdot \sqrt{L} = 0.04 \cdot \sqrt{22.5} = 0.19, \text{пс} .$$

Результуюча дисперсія буде визначатися за формулою (4.2):

$$\tau = \sqrt{\tau_{chr}^2 + \tau_{pmd}^2} = \sqrt{61.9^2 + 0.19^2} = 61.9, \text{пс} .$$

Модульований сигнал передається по ОВ імпульсами із тривалістю τ_0 й швидкістю передачі B_0 біт/с. У процесі поширення внаслідок дисперсії відбувається «розмивання» імпульсів, тобто збільшення їхньої тривалості.

Якщо тривалість отриманих приймачем імпульсів τ_L перевищить бітовий інтервал, то відбудеться накладення сусідніх імпульсів, що викличе міжсимвольну інтерференцію. Отже, приймач не зможе розпізнати окремі імпульси, і в результаті цього збільшиться коефіцієнт бітових помилок BER. Таким чином, для нормального функціонування ВОЛЗ необхідно:

- забезпечити тривалість отриманого імпульсу τ_L , що не перевищує вихідний бітовий інтервал;
- забезпечити отриману потужність на рівні чутливості приймача або ввести запас, що перевищує рівень чутливості приймача.

Відповідно до формули (6.2) бітовий інтервал для системи передачі рівня STM-1 (155 Мбіт/с) становитиме 6451,61 пс.

Максимально припустима величина розширення імпульсів визначається з умови, що припустима тривалість імпульсу знаходиться з виразу:

$$\tau = \frac{T_0}{2}. \quad (6.3)$$

Отже, при швидкості передачі $B_0=155$ Мбіт/с (STM-1) максимально припустима тривалість імпульсу буде $\tau=3222,805$ пс. Початкова тривалість імпульсів визначається з виразу:

$$\tau_0 = \frac{T_0}{4}. \quad (6.4)$$

В відповідності до (6.4), початкова тривалість імпульса буде дорівнювати $\tau_0=1612,9025$ пс. Кінцева тривалість імпульсу виражається через його початкову тривалість τ_0 співвідношенням:

$$\tau = \sqrt{\tau_0^2 + \tau_{рез}^2}. \quad (6.5)$$

Тоді тривалість імпульсу, збільшена за рахунок дисперсії для STM-1, буде дорівнювати:

$$\tau = \sqrt{1612,9025^2 + 61,9_{рез}^2} = 1614,09, \text{ пс}$$

Таким чином при швидкості передачі $B_0=155$ Мбіт/с (STM-1), оптичний імпульс, розширений внаслідок дисперсії, не перевищить припустиму величину $\tau=3225,805$ пс. Це свідчить про те, що можна зробити висновок, що внаслідок проведених розрахунків, за відповідним напрямком компенсація дисперсії не є необхідною.

Надалі необхідно розрахувати енергетичний бюджет лінії в відповідності до наступного виразу:

$$E = P_{\text{опт}} - H_{\text{пор}} - A_{\text{эза}} - A_{\text{эзк}} - A . \quad (6.6)$$

При розрахунку енергетичного бюджету, загасання ВОЛЗ розраховується за формулою:

$$A = A_{\text{НС}} \cdot n_{\text{НС}} + \alpha \cdot L + A_{\text{РС}} \cdot n_{\text{РС}} . \quad (6.7)$$

В відповідності до формули (6.7) розрахуємо величину загасання в оптичній лінії зв'язку:

$$A = A_{\text{НС}} \cdot n_{\text{НС}} + \alpha \cdot L + A_{\text{РС}} \cdot n_{\text{РС}} = 0,05 \cdot 7 + 0,22 \cdot 22,5 + 0,2 \cdot 4 = 6,1, \text{ дБ} .$$

Виходячи з отриманої величини загасання за формулою (6.6), енергетичний бюджет лінії становитиме:

$$E = P_{\text{опт}} - H_{\text{пор}} - A_{\text{эза}} - A_{\text{эзк}} - A = +2 - (-15) - 3 - 3 - 6,1 = 4,9, \text{ дБ} .$$

Отримане значення загасання волоконно-оптичної лінії перебуває в межах припустимих значень, тому що розрахований енергетичний бюджет вийшов невід'ємним, і як наслідок лінія не потребує становлення регенераційного обладнання.

7 ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ ДЛЯ РОЗРАХУНКОВОЇ РОБОТИ

7.1 Варіанти завдань

Індивідуальне завдання для розрахункової роботи полягає в виконанні розрахунку параметрів ОВ системи зв'язку між містами України, виборі відповідного устаткування необхідного для організації ліній зв'язку. В таблиці 6.1 зведені вихідні дані щодо розрахунку.

Таблиця 7.1 – Індивідуальне завдання

Варіант	Міста	Робоча довжина хвилі, мкм	Втрати на нероз'ємних з'єднаннях, дБ	Втрати на роз'ємних з'єднаннях, дБ	Експлуатаційний запас апартури, дБ	Експлуатаційний запас кабеля, дБ	Макс. ведичина крутизни нульової дисперсії	Система передачі
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Донецьк-Львів-Ужгород-Миколаїв-Київ-Запоріжжя-Донецьк	1,55	0,05	0,21	9	9,5	0,092	ІКМ-480
2	Дніпропетровськ-Суми-Львів-Одеса-Харків-Луганськ-Дніпропетровськ	1,3	0,048	0,2	9,2	9,3	0,087	STM-1
3	Ужгород-Луцьк-Славутич-Миколаїв-Херсон-Севастополь-Ужгород	1,3	0,052	0,29	10	9,1	0,094	ІКМ-120
4	Керчь-Львів-Полтава-Хмельницький-Херсон-Джанкой-Керч	1,55	0,042	0,31	8,8	9,6	0,092	ІКМ-120
5	Одеса-Херсон-Львів-Київ-Луганськ-Запоріжжя-Одеса	1,55	0,055	0,25	9,3	9	0,087	ІКМ-120
6	Київ-Суми-Харків-Донецьк-Херсон-Одеса-Київ	1,3	0,05	0,2	9,6	9,7	0,094	STM-16

Продовження таблиці 7.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
7	Сімферополь- Запоріжжя- Луцьк-Львів- Херсон- Сімферополь	1,55	0,051	0,21	9,2	9,1	0,092	IKM-480
8	Івано- Франківськ-Київ- Харків- Дніпропетровськ- Одеса-Миколаїв- Івано-Франківськ	1,3	0,049	0,26	9,7	9,2	0,087	STM-4
9	Чернігів- Житомир- Вінниця- Кіровоград- Луганськ-Харків- Чернігів	1,3	0,048	0,29	9	9,7	0,094	IKM-120
10	Кременчук- Рівне-Івано- Франківськ- Миколаїв- Донецьк-Суми- Кременчук	1,55	0,052	0,19	9,5	9	0,092	STM-1
11	Одеса-Львів- Київ-Херсон- Луганськ- Запоріжжя-Одеса	1,55	0,057	0,25	9,3	9,2	0,087	STM-4
12	Дніпропетровськ- Житомир-Львів- Вінниця- Миколаїв- Маріуполь- Дніпропетровськ	1,55	0,049	0,29	9,1	10	0,094	STM-16
13	Київ-Харків- Донецьк- Миколаїв- Кіровоград- Житомир-Київ	1,3	0,048	0,24	9	8,8	0,092	STM-4
14	Івано- Франківськ-Київ- Харків- Дніпропетровськ- Одеса-Миколаїв- Івано-Франківськ	1,3	0,051	0,3	8,5	9,3	0,087	IKM-480
15	Запоріжжя- Одеса- Кіровоград- Житомир- Чернігів-Харків- Запоріжжя	1,55	0,053	0,27	9,7	8,5	0,094	STM-1
16	Херсон-Львів- Одеса-Київ- Запоріжжя- Луганськ-Херсон	1,3	0,046	0,26	9,1	9,8	0,092	IKM-480

Продовження таблиці 7.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
17	Житомир-Хмельницький-Полтава-Миколаїв-Одеса-Чернігів-Житомир	1,55	0,05	0,24	9,4	9,3	0,087	ІКМ-120
18	Севастополь-Дніпропетровськ-Львів-Київ-Полтава-Херсон-Севастополь	1,55	0,045	0,23	9,8	9	0,094	ІКМ-120
19	Донецьк-Миколаїв-Одеса-Луцьк-Київ-Харків-Донецьк	1,55	0,052	0,27	9,3	9,4	0,092	ІКМ-120
20	Симу-Київ-Херсон-Луцьк-Полтава-Черкаси-Суми	1,3	0,046	0,2	9,2	9,9	0,087	STM-16

Розрахункова робота проводиться в наступній послідовності:

1. В відповідності до переліку населених пунктів необхідно скласти кільцеву топологію та визначити довжину кожної ділянки;
2. Для кожного з комутаційних центрів необхідно обрати активне устаткування яке відповідало вимогам висунутим в таблиці 6.1 (тип системи передачі, довжина хвилі);
3. Обрати тип та марку оптико волоконного кабеля з відповідними параметрами;
4. Визначити кількість нероз'ємних з'єднань згідно з будівельною довжиною кабеля;
5. Обрати в відповідності до активного устаткування та кабелю тип роз'ємних з'єднань та визначити кількість;
6. В відповідності до глави 5 провести розрахунок, зі специфікації активного устаткування слід використовувати чутливість приймача, потужність передавачі, максимальну ширину спектра випромінювача, коефіцієнт поляризаційної модової дисперсії;
7. За потребою визначити довжину регенарційної ділянки, та необхідність використання пристроїв компенсації дисперсії. Якщо є така потреба

необхідно обрати відповідні пристрої та зробити повторний розрахунок параметрів ліній передачі.

8. Привести кінцеву специфікацію активного та пасивного обладнання;
9. Привести схему з'єднаннь мережі в цілому.

7.2 Вимоги до оформлення розрахункової роботи

Розрахункова робота оформлюється в друкованому вигляді на аркушах формату А4 державною мовою, та має містити наступні розділи:

1. титульний лист оформлений в відповідності до наведеного в додатку А;
2. лист зауважень;
3. зміст роботи;
4. завдання в відповідності до варіанту;
5. опис та обґрунтування комплектації мережі;
6. розрахункова частина;
7. аналіз отриманих результатів та опис схеми з'єднаннь, висновки;
8. додаток зі специфікацією обраного устаткування;
9. додаток зі схемою з'єднаннь (в додатку Б наведений приклад схеми з'єднаннь).

Робота друкується на аркушах формату А4, шрифт Times New Roman, розмір 14пт, інтервал 1,5, поля: ліве – 3 см, праве – 2, верхнє – 2 см, нижнє – 2 см. Нумерація сторінок в верхньому правому куті окрім титульного листа.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Слепов Н.Н. Современные технологии оптоволоконных сетей связи (ATM, PDH, SDH, SONET, WDM). – М.: Радио и связь, 2000. – 468 с 574
2. Портнов Э. Л., Оптические кабели связи и пассивные компоненты волоконно-оптических линий связи: Учебное пособие для вузов. – М.: Горячая линия-Телеком, 2007. – 464 с: ил.
3. В. Никитин, М. Ефимов, А. Рывкин, Особенности проектирования одномодовых волоконно-оптических линий связи, "Алгоритм безопасности" № 6, 2006 год.
4. Семенов А.Б., Волоконно-оптические подсистемы современных СКС – М.: Академия АйТи; ДМК Пресс, 2007. – 632с.
5. Убайдулаев Р.Р. Волоконно-оптические сети Эко-Трендз, 2002
6. ДСТУ 3008-96. Документація у сфері науки та техніки. Структура і правила оформлення. – К.: Держстандарт України, 1996. – 38 с.
7. Ведомственные строительные нормы Украины. Проектирование телекоммуникаций. Линейно-кабельные сооружения. ВБН В.2.2-45-1-2004.
8. Д.В. Иоргачев, О.В.Бондаренко «Волоконно-оптические кабели и линии связи».- М.: Эко-Трендз, 2002.- 282 с.
9. Иванов А.Б. «Волоконная оптика: компоненты, системы передачи, измерения».- М.:Компания САЙРУС СИСТЕМС, 1999.- 671с.
10. ОАО «Укртелеком», Центр последипломного образования, Кафедра ТЭПС, «Компоненты ВОЛТ»: Учебное пособие; под ред. Григоренко Е.Г., Киев 2006 г.

Додаток А – Основні типи роз'ємних з'єднань

Коннектор типу ST (straight tip connector, неофіційна розшифровка Stick and Twist– “встав і поверни”) – рисунок А.1 – розроблений Lucent Technologies у середині 80-х років.

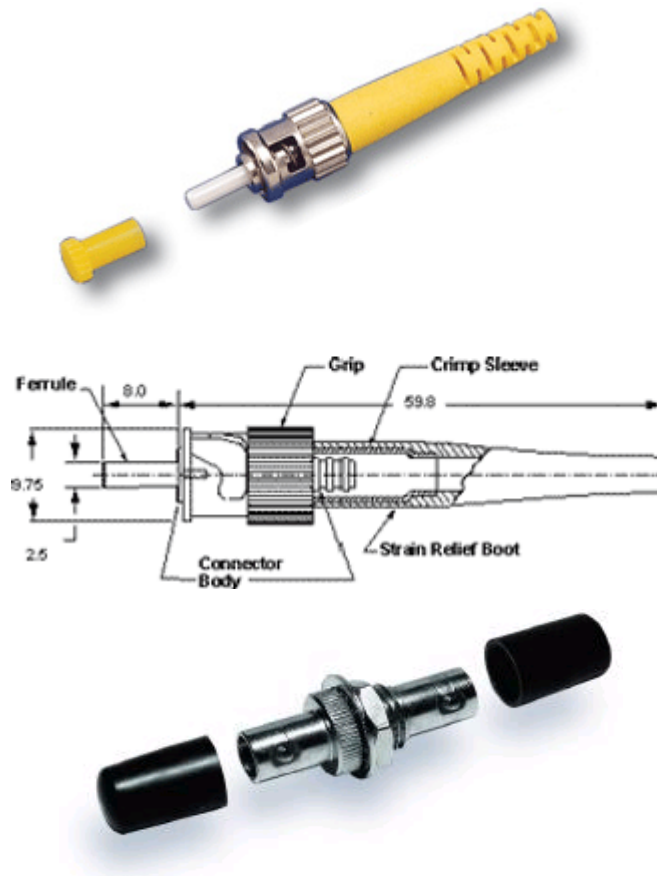
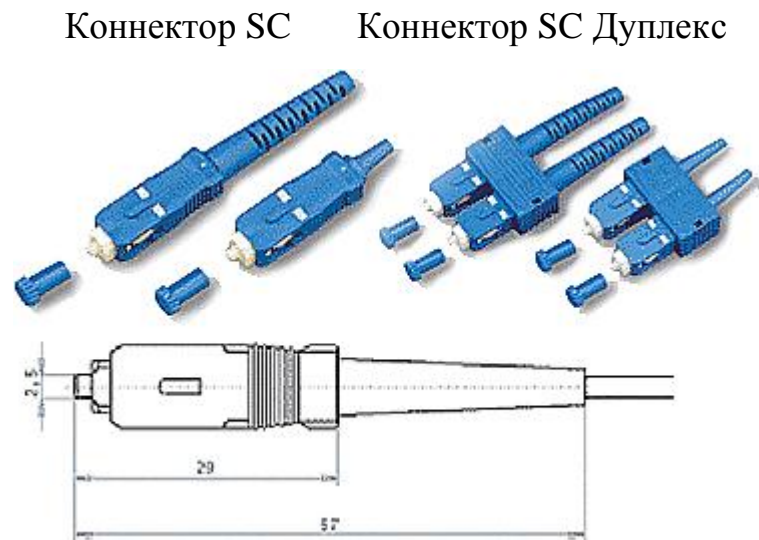


Рисунок А.1 – Конектор та адаптер ST

Конструкція заснована на керамічному наконечнику діаметром 2,5 мм із опуклою торцевою поверхнею, що забезпечує фізичний контакт світловодів.

Недолік: сильно виступаючий і за рахунок цього погано захищений від забруднень наконечник і необхідність обертового руху при підключенні до розетки з'єднувача.

Коннекторы типу SC (subscriber connector, неофіційна розшифровка Stick and Click–«встав і заклацни») – рисунок А.2.



Адаптери

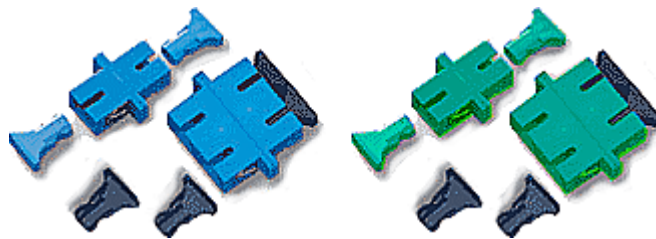


Рисунок А.2 – Конектор та адаптери SC

Представляє собою конструкцію із пластмасовим корпусом прямокутної в перетині форми, що забезпечує плавне підключення й ефективну механічну розв'язку фіксуючого елемента й кабелю.

За рахунок відсутності обертових рухів при установці й демонтажі забезпечуються менші втрати й більша стабільність параметрів. Правильність установки конектора в розетці задає напрямний виступ.

Недолік: більше висока ціна й менша механічна міцність.

Коннектори типу LC розроблені Lucent Technologies в 1997р. Можуть бути в одномодовому або багатомодовому варіанті (рисунок А.3).

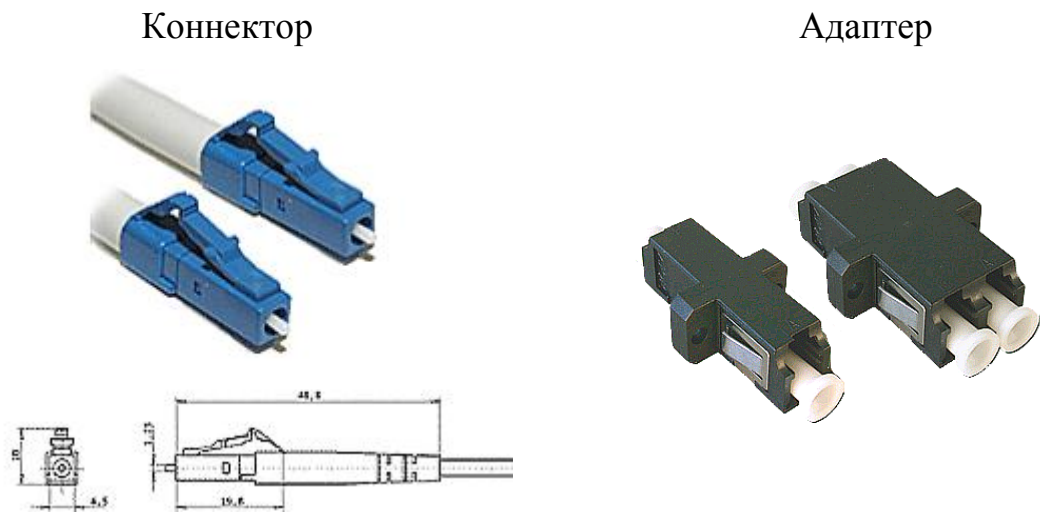


Рисунок А.3 – Коннектор типу LC

Конструкція заснована на застосуванні керамічного наконечника діаметром 1,25 мм і пластмасового корпусу із зовнішньою пелюстковою засувкою для фіксації в гнізді сполучної розетки. Допускає як одиночне, так і дуплексне використання.

Конектори типу FC (рисунок А.4) розроблені японською телекомунікаційною корпорацією NTT.

Для одержання низького рівня втрат і мінімуму зворотного відбиття наконечник конектора виготовляють із твердими допусками на геометричні параметри зі округленням на кінці.

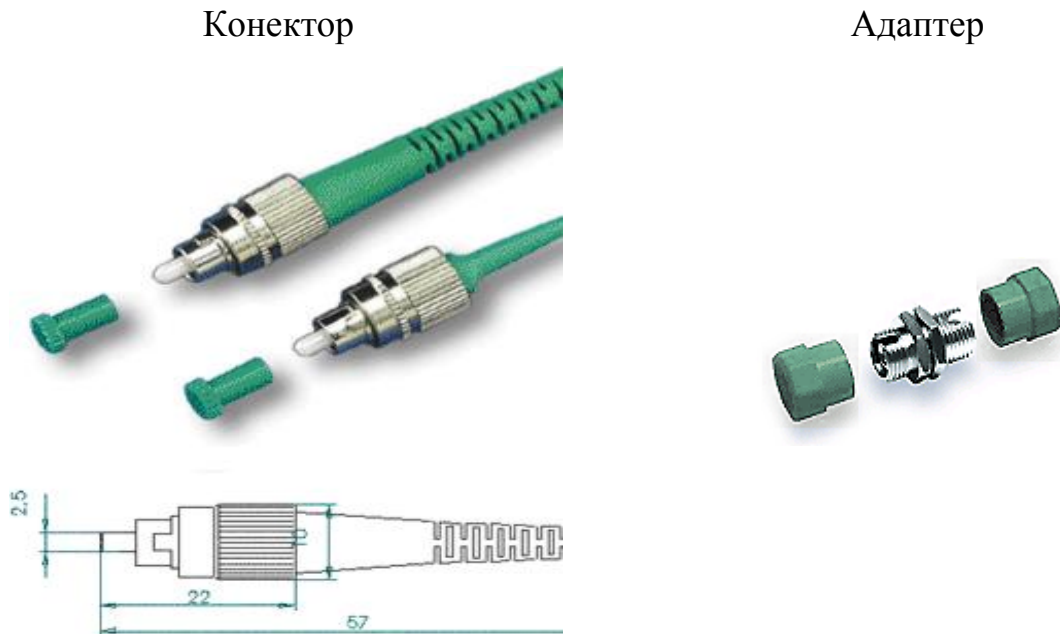


Рисунок А.4 – Конектор та адаптер FC

Конструкція конектора дозволяє домогтися надійного захисту керамічного наконечника від забруднень, а застосування для фіксації накидної гайки дає більшу герметичність та надійність зони з'єднання.

З'єднувач типу E-2000 (рисунок А.5) створений на основі керамічного наконечника діаметром 2,5 мм, що у неробочому стані повністю закритий корпусом конектора й аналогічно конекторам LC може експлуатуватися як в одиночному, так і в дуплексному виконанні.

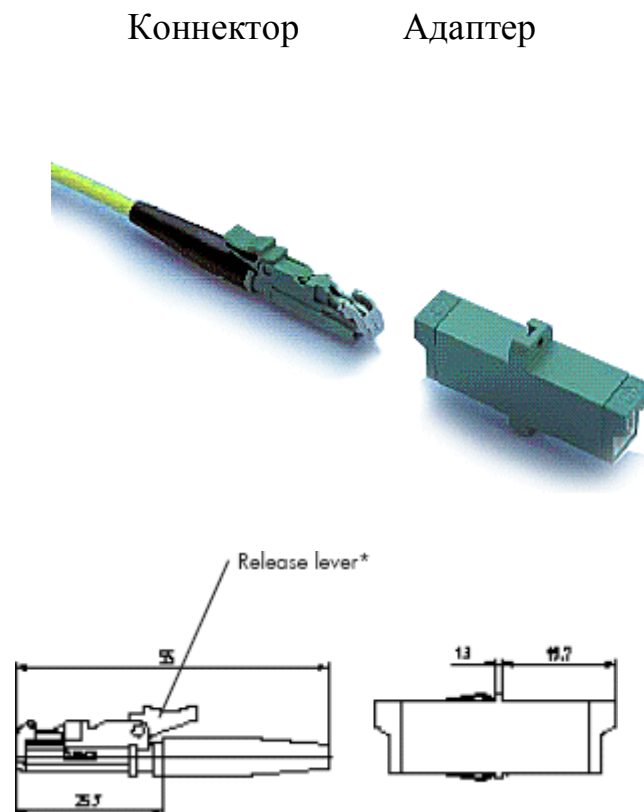

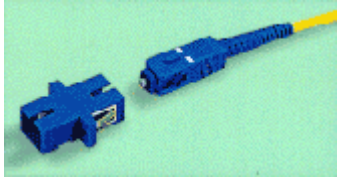
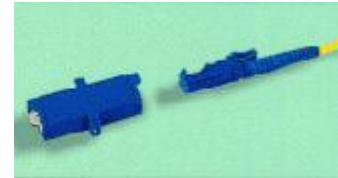


Рисунок А.5 – Коннектор та адаптер E-2000

Від більше ранніх конструкцій E-2000 відрізняється можливістю застосування ефективного колірною кодування (у цей час стандартизовано 8 кольорів) і механічного блокування за рахунок змінної рамки розетки, а також наявністю інтегрованої в конструкцію конектора захисної кришки. Кришка відкривається автоматично при установці в розетку й ефективно захищає конектор від забруднення.

Параметри основних типів конекторів що використовуються в сучасній техніці зв'язку представлені в таблиці А.1

Таблиця А.1 – Параметри конекторів

Тип конектора	Технічні характеристики			
		Multimode	Single mode	Single mode APC
 FC PC	Внесене загасання (IL)	тип. 0.2 макс.0.5	тип. 0.2 макс.0.35	тип. 0.2 макс.0.35
	Зворотне розсіювання (RL)	тип. -40	-50	-70
	Розкид загасання IL	макс.+/- 0.1	макс.+/- 0.1	макс.+/- 0.1
	Термін служби	min. 1000 з'єднань/роз'єднань		
 SC PC	Внесене загасання (IL)	тип. 0.2 макс.0.5	тип. 0.15 макс.0.35	тип. 0.15 макс.0.35
	Зворотне розсіювання (RL)	тип. -40	-50	-70
	Розкид загасання IL	макс.+/- 0.1	макс.+/- 0.1	макс.+/- 0.1
	Термін служби	min. 1000 з'єднань/роз'єднань		
 E2000 PC	Внесене загасання (IL)	тип. 0.2 макс.0.4	тип. 0.12 макс.0.35	тип. 0.12 макс.0.35
	Зворотне розсіювання (RL)	тип. -40	-50	-70
	Розкид загасання IL	макс.+/- 0.1	макс.+/- 0.1	макс.+/- 0.1
	Термін служби	min. 1000 з'єднань/роз'єднань		

Додаток Б – Титульний лист

Міністерство освіти та науки України
Донецький національний технічний університет

Кафедра АТ

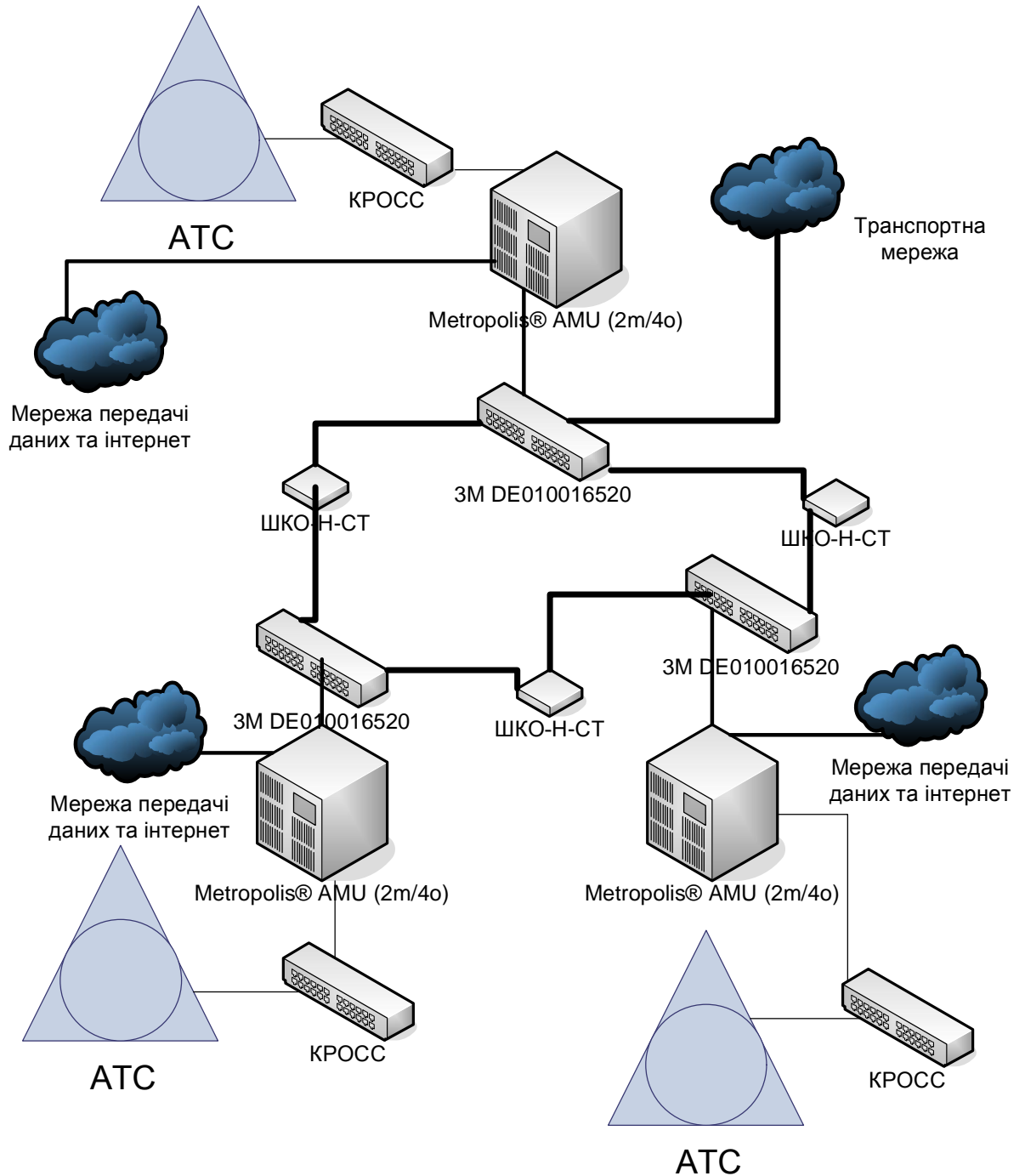
Розрахункова робота №1
З дисципліни «Оптоелектронні системи зв'язку»




Виконав: студент групи ТКС-ХХхх

Перевірив: _____

Донецьк, 201х

Додаток В – Схема з'єднаннь



-  Оптичне волокно Dekra TeraLight Metro, технологія передачі SDH, STM-1, швидкість 155 Мбіт/с
-  Патч-корд SM 9/125, LC-LC, duplex, 1 м, технологія передачі SDH, STM-1, швидкість 155 Мбіт/с, рознімання LC
-  Мідний кабель телефонної якості, категорія не менш за 3

