

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ АЕРОНАВІГАЦІЇ,
ЕЛЕКТРОНІКИ ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ
КАФЕДРА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ ТА РАДІОЕЛЕКТРОННИХ СИСТЕМ**

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри

Одарченко Р.С.
“ _____ ” _____ 2021 р.

**ДИПЛОМНА РОБОТА
(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)**

ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВР

Тема: «Сучасні технології транспортних оптичних мереж»

Виконавець: _____ Оропай С.Ю.
(підпис)

Керівник: _____ Соловйов Д.О.
(підпис)

Нормоконтролер: _____ Бахтіяров Д. І.
(підпис)

Київ 2021

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет аеронавігації, електроніки та телекомунікацій

Кафедра телекомунікаційних та радіоелектронних систем

Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Освітньо-професійна програма «Телекомунікаційні системи та мережі»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Одарченко Р.С.

“ _____ ” _____ 2021 р.

ЗАВДАННЯ на виконання дипломної роботи

Оропая Сергія Юрійовича

(прізвище, ім'я, по батькові випускника в родовому відмінку)

1. Тема дипломної роботи (проекту): «Сучасні технології транспортних оптичних мереж»

затверджена наказом ректора від «06» квітня 2021 р. №559 / ст

2. Термін виконання роботи: з 17.05.2021 р. по 20.06.2021 р.

3. Вихідні дані до роботи: магістральні оптичні канали зв'язку

4. Зміст пояснювальної записки: аналіз методів побудови магістральних каналів зв'язку; методи реалізації магістральних каналів; розрахунок магістрального каналу зв'язку DWDM

5. Перелік обов'язкового графічного (ілюстративного) матеріалу: слайди презентації MS Power Point

6. Календарний план-графік

№ пор.	Завдання	Термін виконання	Відмітка про виконання
1	Розробити деталізований зміст розділів диплому	17.05.2021- 20.05.2021	Виконано
2	Вступ	21.05.2021- 22.05.2021	Виконано
3	Назва першого розділу	23.05.2021- 27.05.2021	Виконано
4	Назва другого розділу	28.05.2021- 03.06.2021	Виконано
5	Назва третього розділу	04.06.2021- 09.06.2021	Виконано
6	Усунення недоліків дипломної роботи	10.06.2021- 14.06.2021	Виконано

7. Дата видачі завдання: "26" квітня 2021 р.

Керівник дипломної роботи _____ Соловйов Д.О.
(підпис керівника) (П.І.Б.)

Завдання прийняв до виконання _____ Оропай С.Ю.
(підпис випускника) (П.І.Б.)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи «Сучасні технології транспортних оптичних мереж»: 75 сторінок, 23 рисунки, 3 таблиці, 12 використаних джерел.

Об'єкт дослідження – Магістральні канали зв'язку.

Мета роботи – визначення найбільш ефективного методу реалізації магістральних каналів та розрахування.

Метод дослідження – Розрахунок магістрального каналу DWDM.

У даній дипломній роботі досліджується методи побудови магістральних каналів зв'язку Інтернет провайдера, використовуючи сучасні транспортні технології для створення гнучких високошвидкісних та надійних каналів зв'язку, які б відповідали сучасному стрімкому розвитку телекомунікаційних послуг.

Матеріали дипломної роботи рекомендується використовувати при проведенні наукових досліджень, у навчальному процесі та в практичній діяльності фахівців зв'язку.

ЗМІСТ

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ.....	7
ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПОБУДОВИ МАГІСТРАЛЬНИХ КАНАЛІВ ЗВ'ЯЗКУ.....	9
1.1. Види каналів зв'язку.....	9
1.2. Волоконно-оптична лінія зв'язку.....	13
1.3. Активні компоненти оптичних систем.....	37
РОЗДІЛ 2 МЕТОДИ РЕАЛІЗАЦІЇ МАГІСТРАЛЬНИХ КАНАЛІВ.....	39
2.1. Технології магістральних мереж.....	39
2.2 Трансивери.....	46
2.3. Основні принципи технології щільного хвильового мультиплексування	49
2.4. Компоненти DWDM	52
2.5. Топології DWDM	55
РОЗДІЛ 3. РОЗРАХУНОК МАГІСТРАЛЬНОГО КАНАЛУ DWDM	61
3.1. Опис ділянки магістрального каналу.....	61
3.2. Вибір волоконно-оптичного кабелю.....	62
3.3. Вибір обладнання.....	64
3.4. Розрахунок лінії за загасанням.....	65
3.5. Розрахунок лінії за дисперсією.....	68
3.6. Розрахунок коефіцієнту сигнал / шум (OSNR).....	69
3.7. Моніторинг за станом лінії зв'язку.....	69
ВИСНОВКИ.....	71
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	72

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ

- ВОК – (Волоконно-оптичний кабель)
- ВОЛЗ – (Волоконно-оптична лінія зв'язку)
- ОВ – (Оптичне волокно)
- КП – (Коефіцієнт підсилення)
- ITU – (International Telecommunication Union)
- DC – (Dispersion compensation)
- WDM – (Wavelength-division multiplexing)
- CWDM – (Coarse wavelength-division multiplexing)
- DWDM – (Dense wavelength-division multiplexing)
- EDFA – (Erbium Doped Fiber Amplifier)
- OSNR – (Optical signal noise rate)
- DDM – (Digital Diagnostics Monitoring)
- LAN – (Local Area Network)
- MAN – (Metropolitan area network)
- WAN – (Wide area network)
- TDM – (Time-division multiplexing)
- SDH – (Synchronous Digital Hierarchy)
- ATM – (Asynchronous Transfer Mode)
- UPC – (Ultra Physical Contact)
- PMD – (Polarization mode dispersion)
- SONET – (Synchronous Optical Networking)
- SFP – (Small Form-factor Pluggable)
- FRA – (Fiber Raman Amplifier)
- SOA - (Semiconductor Optical Amplifier)
- SMF – (Single-mode optical fiber)
- MMF – (Multimode fiber optic)

ВСТУП

Магістральні мережі зв'язку є фундаментом, на якому будується надання телекомунікаційних послуг для споживачів, вони використовуються для оперативної передачі інформації в масштабах країни (регіону), надійного і високошвидкісного з'єднання географічно розподілених центрів обробки даних, розширення різних інформаційних потоків, забезпечення надійних високошвидкісних з'єднань.

Стрімкий розвиток інформаційних технологій, зростання числа користувачів, пристроїв і сервісів, впровадження нових технологій, розвиток концепції інтернету речей призводять до швидкого збільшення обсягу трафіку, що передається в магістральних мережах.

Сучасна магістральна мережа повинна мати високу швидкість передачі даних, щоб задовольняти потребу в передачі великої кількості інформації. Масштабованість – ще одна з вимог до таких мереж, потрібно використовувати такі технології, які дозволяють розширювати смугу пропускання та об'єми сервісів без зміни фізичної структури мережі. На основі магістральних мереж можливо надавати різні види послуг користувачам та передавати різноманітні види трафіку. Сучасні транспортні мережі мають високі показники надійності та мінімальний час відновлення після збоїв. Стандартом доступності надаваних послуг є надійність порядку 99.99%. Вони повинні бути готовими до впровадження не тільки існуючих, а й перспективних послуг, що ще розробляються, яким потрібно надавати високошвидкісний транспорт.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПОБУДОВИ МАГІСТРАЛЬНИХ КАНАЛІВ ЗВ'ЯЗКУ

1.1 Види каналів зв'язку

Канали зв'язку поділяються за використанням середовища передачі інформації на провідні, безпровідні та супутникові. Провідні канали зв'язку - це перевірене часом рішення побудови каналів зв'язку, засноване на застосуванні мідних або волоконно-оптичних кабелів. У той час як використання мідних ліній зв'язку обмежене низькошвидкісними лініями або технологічними мережами зв'язку, які прийшли з минулого століття; волоконно-оптичні лінії зв'язку (ВОЛЗ), навпаки, використовуються широко. Застосування ВОЛЗ - досить перспективно, оскільки вони забезпечують високу збереженість інвестицій завдяки високій пропускній здатності і можливості збільшувати її в міру необхідності в тисячі разів до терабіт в секунду шляхом модернізації каналостворюючого обладнання та застосування різних технологій ущільнення каналу зв'язку. Так, для організації ВОЛЗ з пропускною здатністю 1 Гб / с або 10 Гб / с між двома вузлами на відстані до 80 км досить використовувати стандартне обладнання каналостворення 1000Base-X / 10GBase-X. Для підвищення пропускної здатності ВОЛЗ використовують методи спектрального ущільнення каналів, які полягають у встановленні спеціального каналостворюючого обладнання, що здійснює мультиплексування в одній оптоволоконній лінії декількох каналів, передаючи їх на різних несучих.

До істотних переваг волоконно-оптичних ліній зв'язку відносяться:

- Найкраща пропускна здатність; отримані швидкості до 20 Тб / с;
- Можливість будувати лінії довжиною 100 км без повторювачів і на тисячі кілометрів з повторювачами-підсилювачами сигналу;
- Висока перешкодозахищеність і відсутність впливу електромагнітних полів як результат оптичної природи сигналу;

- Висока якість і стабільність зв'язку за умови виконання вимог до правил укладання та експлуатації кабелю, доступність не гірше 99,999 відсотка;
- Малі затримки при передачі інформації менше 1 мс.

Особливістю волоконно-оптичних ліній зв'язку, як, втім, і будь-яких дротових, вважаються: високі фінансові та часові витрати на побудову - приведена вартість прокладки волоконно-оптичного кабелю по існуючій каналізації становить близько одного долара США за метр. Вартість побудови каналізації збільшує цю вартість в рази, при тому, що в день в існуючій каналізації може бути побудовано не більше 1-2 км лінії зв'язку; високі витрати на ремонт ВОЛЗ, що ще більш актуально в умовах ще виникаючих випадків вандалізму і розкрадань. Ці обмеження в деяких випадках змушують задуматися про альтернативні каналах зв'язку.

Один з альтернативних типів ліній зв'язку - це бездротові лінії, які організуються двома або кількома приймально-передавальними пристроями і використовують радіохвилі для передачі інформації.

Сучасні бездротові технології забезпечують пропускну спроможність до 2 Гб / с на дальності в одиниці і десятки кілометрів з досить високою якістю, стабільністю каналів зв'язку і можливістю реалізації відмовостійкості. У численних сценаріях застосовуються різні бездротові технології, існують рішення, ефективні в різних ситуаціях. При побудові магістральних каналів зв'язку і мереж останньої милі до систем пред'являються різні вимоги, частина з яких взаємовиключні. Так, магістральні канали використовують в основному рішення топології точка-точка з високою надійністю і пропускнуою спроможністю, а остання миля потребує високої економічної ефективності, топології точка-многоточка, гнучкості й адаптованості до різних умов. До магістральних бездротових рішень відносять в основному радіорелейні лінії зв'язку, які можуть забезпечити до 1,6 Гб / с на дальності в десятки кілометрів з підтримкою частотного або фазового розділення каналів.

Застосування радіорелейних каналів в магістральних мережах передбачає резервування з використанням топології кільце або гарячого резервування обладнання Hot-Standby, або Space / Frequency Diversity.

Особливістю таких систем як наслідку використання надвисокочастотного діапазону є висока залежність від опадів і вологи в атмосфері, що необхідно враховувати при проектуванні каналів зв'язку на базі таких систем. Така універсальність бездротових рішень і незалежність від існуючих ліній зв'язку робить їх непоганою альтернативою провідним лініям зв'язку.

До переваг бездротових технологій можна віднести:

- Невеликі капітальні витрати на створення каналу зв'язку (до декількох десятків тисяч доларів США на канал довжиною 40 км і пропускною здатністю 800 Мб / с незалежно від наявності інфраструктури зв'язку та перешкод між вузлами);
- Невеликі витрати часу при побудові каналу (один-два дні);
- Відносно високі швидкості (до гігабіта в секунду);
- Можливість швидко «перенести» канал при необхідності;
- Невеликі затримки при передачі інформації (до 40 мс), що критично для чутливого до затримки голосу та відео, що вимагає менше 150 мс по самим жорстким вимогам ITU G.114;
- Можливість надавати послуги мобільним і «кочуючим» абонентам;
- Підтримка технології QoS;
- Вбудовані механізми забезпечення резервування.

До особливостей бездротових ліній зв'язку відносять:

- Необхідність (для більшості радіотехнологій) прямої видимості між антенами або виразної траєкторії відображення радіосигналу;
- Необхідність ліцензій та дозволів на використання радіочастотного ресурсу.

Ще один широко відомий тип ліній зв'язку - супутникові лінії. Для побудови супутникових систем використовують, в основному, три різновиди орбіт: геостаціонарну, високу еліптичну і низьковисотну орбіту.

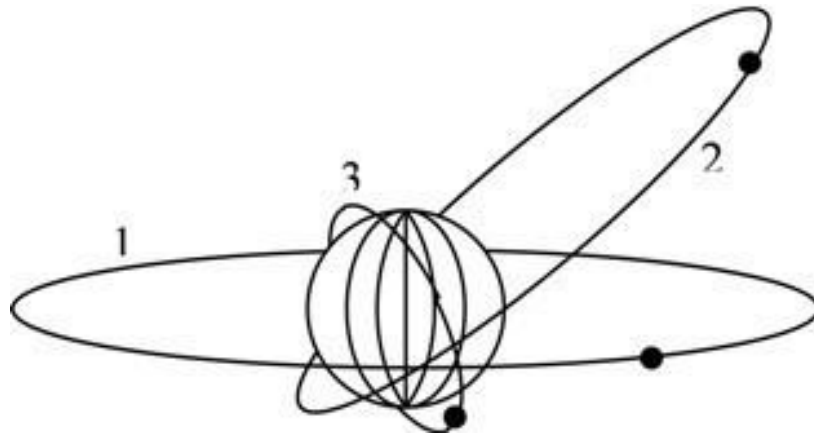


Рис. 1.1. Орбіти супутників Землі:

1 - геостаціонарна; 2-висока еліптична; 3 – низьковисотна

Як правило, канал зв'язку будується через геостаціонарній або низькоорбітальний штучний супутник. Зв'язок може бути організовано безпосередньо між абонентськими супутниковими станціями або через супутниковий хаб (вузлова станція) з ретрансляцією на іншу абонентську станцію. Супутникові лінії зв'язку в даний час використовуються в разі неефективності інших типів ліній при складності та / або високих витратах на побудову кабельних або бездротових ліній і на далекі відстані, понад 200-300 км за відсутності готової інфраструктури зв'язку. До безперечних переваг супутникових ліній зв'язку відносяться:

- Можливість організувати зв'язок з мінімальними тимчасовими витратами практично в будь-якій точці незалежно від наявності інфраструктури зв'язку;
- Можливість «перенесення» каналу в будь-яке інше місце в зоні дії супутникового транспондера з мінімальною перервою;
- Можливість розділяти виділений на групу ресурс супутника зв'язку між усіма абонентськими станціями, підвищуючи ефективність використання.

Особливості супутникових ліній зв'язку:

- Обмежена пропускна здатність, пов'язана з параметрами супутникового транспондера, зазвичай використовують до 2-4 Мб / с;
- Висока затримка передачі сигналу (від 0,5 до 1 с) при необхідних для передачі голосу до 150 мс (ITU-T G.114);

- Відносно висока вартість оренди супутникового ресурсу;
- Необхідність забезпечення прямої видимості на супутник (може підніматися над горизонтом всього на 20 градусів);
- Нестабільність якості супутникового каналу, пов'язана з гідрометеорів в атмосфері і «засвіченнями» Сонця (в залежності від енергетики канал може бути недоступний протягом одного-трьох днів на рік). Відносно висока вартість оренди супутникового ресурсу визначається обмеженістю ресурсу супутника і високою вартістю його запуску. Так, наприклад, сучасний супутник зв'язку КА-SAT вартістю близько 350 млн € має розрахунковий час життя 16 років і сукупну пропускну спроможність 28 транспондерів - 90 Гб / с, розділену на території Землі на 82 «плями», пропускну здатність в кожному обмежена 850 Мб / с.

До магістральних мереж висуваються високі вимоги по надійності, великій смузі пропускання та перспективності. Задовольнити ці вимоги можливо лише за використанням волоконно-оптичних ліній зв'язку.

1.2. Волоконно-оптичні лінії зв'язку

Волоконно-оптичні лінії зв'язку - це вид зв'язку, при якому інформація передається по оптичних діелектричним хвилеводів, відомим під назвою "оптичне волокно". Оптичне волокно в даний час вважається найдосконалішою фізичним середовищем для передачі інформації, а також самої перспективним середовищем для передачі великих потоків інформації на значні відстані. Підстави так вважати впливають із ряду особливостей, властивих оптичних хвилеводів.

Фізичні особливості:

1. Ширококутовість оптичних сигналів, обумовлена надзвичайно високою частотою несучої. Швидкість передачі даних може бути збільшена за рахунок передачі інформації відразу в двох напрямках, так як світлові хвилі можуть поширюватися в одному волокні незалежно одна від одної. Крім того, в оптичному волокні можуть поширюватись світлові сигнали двох різних поляризацій, що

дозволяє подвоїти пропускну здатність оптичного каналу зв'язку. На сьогоднішній день межа по щільності переданої інформації з оптичного волокна не досягнута.

2. Дуже мале, у порівнянні з іншими середовищами, загасання світлового сигналу у волокні. Загалом стандартні волокна зараз мають загасання 0.22 дБ / км на довжині хвилі 1.55 мкм, що дозволяє будувати лінії зв'язку довжиною до 100 км без регенерації сигналів. Для порівняння, кращі волокна на довжині хвилі 1.55 мкм мають загасання 0.154 дБ / км. В оптичних лабораторіях США розробляються ще більш "прозорі", так звані фторцирконатні волокна з теоретичним межею порядку 0,02 дБ / км на довжині хвилі 2.5 мкм. Лабораторні дослідження показали, що на основі таких волокон можуть бути створені лінії зв'язку з регенераційних ділянками через 4600 км при швидкості передачі порядку 1 Гбіт / с.

Технічні особливості:

1. Волокно виготовлено з кварцу, основу якого складає двоокис кремнію, широко поширеного, а тому недорогого матеріалу, на відміну від міді.

2. Оптичні волокна мають діаметр близько 100 мкм., тобто дуже компактні і легкі, що робить їх перспективними для використання в авіації, приладобудуванні, в кабельній техніці.

3. Скляні волокна - не метал, при будівництві систем зв'язку автоматично досягається гальванічна розв'язка сегментів. Застосовуючи особливо міцний пластик, на кабельних заводах виготовляють самонесучі підвісні кабелі, які містять метал і тим самим безпечні в електричному відношенні. Такі кабелі можна монтувати на щоглах існуючих ліній електропередач, як окремо, так і вбудовані в фазовий провід, економлячи значні кошти на прокладку кабелю через річки та інші перешкоди.

4. Системи зв'язку на основі оптичних волокон стійкі до електромагнітних перешкод, а передана по світловодам інформація захищена від несанкціонованого доступу. Волоконно-оптичні лінії зв'язку не можна підслухати неруйнівним способом. Будь-який вплив на волокно може бути зареєстрований методом моніторингу (безперервного контролю) цілісності лінії. Теоретично існують способи

обійти захист шляхом моніторингу, але витрати на реалізацію цих способів будуть настільки великі, що перебільшать вартість перехопленої інформації.

5. Важлива властивість оптичного волокна - довговічність. Час життя волокна, тобто збереження ним своїх властивостей в певних межах, перевищує 25 років, що дозволяє прокласти оптико-волоконний кабель один раз і, в міру необхідності, нарощувати пропускну здатність каналу шляхом заміни приймачів і передавачів на більш швидкодіючі.

Є в волоконній технології і свої недоліки:

1. При створенні лінії зв'язку потрібні високонадійні активні елементи, які перетворюють електричні сигнали в світло і світло в електричні сигнали. Необхідні також оптичні конектори (з'єднувачі) з малими оптичними втратами і великим ресурсом на підключення-відключення. Точність виготовлення таких елементів лінії зв'язку повинна відповідати довжині хвилі випромінювання, тобто похибки повинні бути порядку частки мікрона, тому виробництво таких компонентів оптичних ліній зв'язку дуже дороге.

2. Інший недолік полягає в тому, що для монтажу оптичних волокон потрібно прецизійне, а тому дороге, технологічне обладнання.

3. Як наслідок, при аварії (обриві) оптичного кабелю витрати на відновлення вище, ніж при роботі з мідними кабелями.

Переваги від застосування волоконно-оптичних ліній зв'язку (ВОЛЗ) настільки значні, що незважаючи на перераховані недоліки оптичного волокна, ці лінії зв'язку все ширше використовуються для передачі інформації.

Промисловість багатьох країн освоїла випуск широкої номенклатури виробів і компонентів ВОЛЗ. Слід зауважити, що виробництво компонентів ВОЛЗ, в першу чергу оптичного волокна, відрізняє високий ступінь концентрації. Більшість підприємств зосереджено в США. Володіючи головними патентами, американські фірми (в першу чергу це відноситься до фірми "CORNING") впливають на виробництво і ринок компонентів ВОЛЗ в усьому світі, завдяки укладанню ліцензійних угод з іншими фірмами і створенню спільних підприємств.

Найважливіший з компонентів ВОЛЗ - оптичне волокно. Оптичне волокно являє собою двошарову циліндричну кварцеву нитку, що складається з серцевини і оболонки. Оболонка покрита захисним шаром з акрилового лаку. Серцевина легірована германієм, тому її показник заломлення більше, ніж у оболонки. Світло поширюється в серцевині волокна, зазнаючи повне внутрішнє відбиття на кордоні з оболонкою. Він проникає в оболонку на глибину порядку довжини хвилі, тобто на глибину багато менше її товщини і, отже, не взаємодіє з покриттям з акрилового лаку. Це покриття необхідно для захисту кварцовою оболонки від механічних пошкоджень і дії води.

Волокна діляться на два основних типи: багатомодові і одномодові. Для всіх типів волокон, застосовуваних у лініях зв'язку, діаметр кварцовою оболонки має стандартний розмір 125 ± 1 мкм. Номінальний діаметр серцевини у багатомодових волокон 50 або 62.5 мкм. Діаметр серцевини у одномодових волокон може змінюватися в залежності від типу волокна в межах 7..9 мкм. Нормованим параметром у одномодових волокон є діаметр модової плями, величина якої залежить від типу волокна і робочої довжини хвилі і лежить в межах 8..10 мкм. Відхилення діаметра модової плями від її середньої величини відповідно до міжнародного стандарту ITU-T Rec. G. 652 не повинно перевищувати 10%.



Рис. 1.2. Геометричні параметри одномодового волокна



Рис. 1.3 Геометричні параметри багатомодового волокна

Всі типи волокон, що застосовуються в лініях зв'язку, по своїх геометричних параметрах настільки близькі один до одного, що при зовнішньому огляді, якщо немає спеціального маркування, визначити який це тип волокна, практично неможливо. Багатомодові волокна застосовуються в локальних обчислювальних мережах і частково в транспортних мережах на рівні доступу. Одномодові волокна застосовуються в транспортних мережах всіх трьох рівнів: магістральному, рівні розподілу та рівні доступу. Типи одномодових волокон відрізняються один від одного тільки формою профілю показника заломлення і, відповідно, дисперсійними характеристиками.

Для зниження числа мод, що проходять через волокно (а отже, зниження модової дисперсії), діаметр та / або апертура серцевини повинні бути зменшені, а / або довжина хвилі для передачі - збільшена . Це фундаментальні принципи, що лежать в основі одномодових кабелів.

Одномодове волокно являє собою по суті волокно зі ступінчастим профілем показника заломлення і з дуже маленьким діаметром серцевини. Теоретично, через малий розмір серцевини, по волокну може проходити лише невелике число мод світла. Для подальшого зниження числа мод, волокно створюється з дуже невеликою різницею в показниках заломлення серцевини і оболонки. В міру зменшення різниці між показниками заломлення серцевини і оболонки критичний кут зростає. Отже, внутрішнє віддзеркалення зазнають лише промені, що падають під дуже великими кутами, а всі інші промені будуть розсіюватися в оболонці. Внаслідок такої будови уздовж волокна може проходити лише єдина, тобто основна, мода світла. Для того щоб передача світла по одномодовому волокну відбувалася описаним вище чином,

імпульс світла, що вводиться в сердцевину, повинен бути дуже точно націлений по центру сердцевини, інакше більша частина світлового випромінювання буде втрачена в оболонці. Якщо система реалізована правильно, імпульс вхідного сигналу з'явиться на виході з волокна з майже тією ж формою. При передачі по волокну єдині основної моди в одномодовому волокні теоретично не може бути модової дисперсії.

Діаметр сердцевини одномодового волокна знаходиться зазвичай в межах від 8 до 9 мкм. Типова специфікація одномодового волокна складає 8,5 / 125/250 мкм.

Типове одномодове волокно показує загасання в межах від 0,35 до 1,0 дБ на кілометр для робочої довжини хвилі 1310 нм і від 0,22 до 1,0 дБ на кілометр для робочої довжини хвилі 1550 нм. У недавньому дослідженні втрати для довжини хвилі 1550 нм були знижені до 0,15 дБ / км.

Сучасне одномодове волокно зазвичай показує дуже високу смугу пропускання, часто перевищує 100 ГГц / км. В даний час це відповідає комерційним швидкостям передачі даних приблизно між 10 і 40 Гбіт / с для систем, що працюють на одній довжині хвилі. Зараз проводяться лабораторні роботи з лазерами з передачі на швидкості до 100 Гбіт / с. Отримати великі швидкості передачі даних для однієї довжини хвилі стає важче, оскільки через часу відповіді приймальних пристроїв неможливо розрізнити тривалість біта і довжину хвилі світла. Використання спектрального ущільнення дозволяє досягти швидкостей передачі по єдиному одномодовому волокну до декількох терабіт в секунду.

Апертура одномодових волокон надзвичайно мала (зазвичай в межах від 0,1 до 0,15), що значно знижує число мод, здатних пройти по волокну. Для подолання проблеми дуже маленького кута прийому використовуються лазери, що надають когерентний і потужний пучок світла, дуже точно налаштований на кінець волокна для забезпечення випромінювання в волокно максимально можливої кількості енергії. Невирівняні світлові промені будуть розсіюватися в оболонці і губитися, тому належне вирівнювання дуже важливо.

Діаметр оболонки одномодового волокна 125 мкм, тому теоретично можливо фізично під'єднати це волокно до багатомодових джерела і приймача. Завдяки

низьким значенням апертури і діаметра серцевини, по волокну пройде дуже незначна світлова енергія, тому система не зможе задовільно працювати. При зворотному сценарії, коли обладнання джерела і приймача для одномодового волокна підключено до багатомодових кабелів, система буде працювати дуже успішно на швидкостях до 1 Гбіт / с на порівняно великих відстанях.

Більшість одномодових волоконних систем діють на довжинах хвиль 1310 і 1550 нм, хоча краще працювати в області 1550 нм через менші загасання у волокнах на цій довжині хвилі. Лазери, що працюють на цій довжині хвилі, не настільки ефективні, як лазери для 1310 нм, але в даний час для їх поліпшення проводиться значний обсяг досліджень і розробок. Одна з проблем, що обговорювалися під час створення одномодових кабелів, полягає в тому, що через невелику різницю в показниках заломлення серцевини і оболонки, невелика кількість світлової енергії має тенденцію проходити по оболонці. Це додає додаткові спотворення у вихідний сигнал. Зазвичай це явище називають "хвилевідної дисперсією" (waveguide dispersion). Виробники зазвичай включають значення цієї дисперсії в технічних характеристиках оптичного волокна.

Основні типи одномодових волокон, застосовуваних у лініях зв'язку, нормуються міжнародними стандартами ITU-T Rec. G. 652 ... G. 656:

- G.652: волокна з незміщеною дисперсією (SM волокна) з довжиною хвилі нульової дисперсії і довжиною хвилі відсічення в районі 1310 нм.
- G.653: волокна зі зміщеною дисперсією (DS волокна) з довжиною хвилі нульової дисперсії в районі 1550 нм і довжиною хвилі відсічення в районі 1310 нм.
- G.654: волокна з незміщеною дисперсією (SM волокна) з довжиною хвилі нульової дисперсії в районі 1310 нм і довжиною хвилі відсічення в районі 1550 нм.
- G.655: волокна зі зміщеною ненульовою дисперсією (NZDS волокна), що володіють малою дисперсією ($0.1 \dots 6 \text{ пс} / \text{нм} \times \text{км}$) в діапазоні довжин хвиль 1530...1565 нм.
- G.656: волокна з ненульовою дисперсією для систем грубого ущільнення по довжинах хвиль (CWDM - Coarse Wavelength Division Multiplexing).

Існує також кілька спеціальних типів одномодових волокон, що застосовуються в волоконно-оптичних пристроях:

- Волокна для компенсації дисперсії (DC - Dispersion Compensating), застосовувані в модулях компенсації дисперсії.
- Волокна з домішкою рідкоземельних елементів, що застосовуються в оптичних підсилювачах, наприклад, в EDFA - Erbium Doped Fiber Amplifier.
- Волокна, що зберігають стан поляризації випромінювання (PM - Polarization Maintaining), застосовувані в гіроскопах, поляризаційних ділителях і змішувачах.
- Дірчасті волокна (Holey Fiber), застосовувані в компенсаторах дисперсії, в оптичних шнурах, в нелінійних елементах.

Багатомодові волокна із ступінчастим і плавним зміною показників заломлення. Термін "багатомодові" застосовується зазвичай до волокон з діаметром 50 мкм і більше. І за порівняно великого діаметра сердцевини, уздовж сердцевини можуть поширюватися кілька мод світлового випромінювання. Поширення декількох мод по волокну є причиною модової дисперсії.

Модова дисперсія, яка має місце в багатомодовому волокну, впливає або зазнає впливу з боку ряду робочих параметрів волокна. Робоча відстань багатомодових волокон приблизно 5 км.

Вони зазвичай працюють з довжинами хвиль 850 або 1300 нм. Деякі волокна здатні працювати з обома довжинами хвиль (різні фізичні стандарти зв'язку використовують різні робочі довжини хвиль).

Великий діаметр багатомодового волокна дозволяє використовувати в якості джерел світлового випромінювання світлодіоди. Це, в свою чергу, робить систему передачі значно дешевше порівняно з системою, що використовує волокна з меншим діаметром і вимагає використання лазерів. Використання лазерів VCSEL значно знизило вартість лазерів і вони стали використовуватися з багатомодовими волокнами для високошвидкісних каналів зв'язку до 10 Гбіт / с . Ще однією перевагою багатомодових волокон є те, що великий діаметр спрощує окінцівку і зрощування, що робить кінцеву встановлену систему дешевше.

Багатомодові волокна виготовляються в трьох основних типорозмірах:

1) Серцевина з діаметром 50 мікрон (50/125/250 мкм)

50 мкм - діаметр серцевини, 125 мкм - діаметр оболонки, 250 мкм - діаметр кожуха.

Волокно з цим розміром широко використовується в Європі.

У порівнянні з двома іншими типорозмірами, в даному волокні сигнал має менше загасання. З іншого боку, менший діаметр волокна не дозволяє отримати стільки ж енергії для сигналу від світлодіода.

В цілому даний вид волокна має велику смугу пропускання, ніж інші два види, і досягає великих швидкостей передачі. Велика смуга пропускання утворюється за рахунок меншої модової дисперсії.

З трьох типорозмірів у цього волокна найменша апертура, зазвичай близько 0,2. Порівняно маленькі значення розміру серцевини і апертури призводять до того, що через стик даного волокна передається найменша кількість енергії від джерела світла. Для довгих відрізків кабелю це компенсується меншим загасанням.

2) Серцевина з діаметром 62,5 мікрон (62,5 / 125/250 мкм)

62,5 мкм - діаметр серцевини, 125 мкм - діаметр оболонки, 250 мкм - діаметр кожуха.

Волокна цього типорозміру переважно використовуються в США і регіонах Азії та Австралії.

У порівнянні з двома іншими типорозмірами волокон, загасання сигналу незначно вище, ніж для волокна з діаметром 50 мкм, і значно нижче, ніж для волокна з діаметром 100 мкм.

Смуга пропускання цього волокна лише ненабагато менше, ніж у волокна діаметра 100 мкм. Тому воно використовується в системах, що працюють з тими ж швидкостями передачі, що системи з волокнами діаметра 50 мкм.

У цього волокна порівняно висока апертура, що наближається до апертури волокна діаметра 100 мкм, зазвичай становить близько 0,275.

Велика апертура цього волокна дозволяє приймати приблизно на 5 дБ більшу потужність в порівнянні з волокном діаметра 50 мкм при підключенні до одного і того ж джерела. Це зазвичай компенсує менші параметри загасання волокна в 50 мкм на

дистанціях в кілька кілометрів і дозволяє використовувати на таких же відстанях передачі.

3) Серцевина з діаметром 100 мікрон (100/140/250 мкм) 100 мкм - діаметр серцевина, 140 мкм - діаметр оболонки, 250 мкм - діаметр кожуха. У сучасних комерційних і промислових комунікаційних додатках цей типорозмір використовується рідко. Це волокно було одним з перших, представлених на ринку і мало великий діаметр серцевини через обмеження технології виробництва.

Параметри загасання цього волокна вдвічі перевищують відповідні параметри волокон діаметра 50 і 62,5 мкм. Це не підходить для більшості комунікаційних додатків.

З трьох типорозмірів тут найменша смуга пропускання, складова приблизно від 20 до 30% смуги пропускання перших двох волокон. Тому підтримуються лише низькі швидкості передачі.

У порівнянні з іншими багатомодовими волокнами, у цього волокна найбільша апертура, зазвичай близько 0,290. При підключенні до одного і того ж джерела світлового, випромінювання це додає приблизно 9 дБ у порівнянні з кабелем в 50 мкм. Через більший діаметр його простіше зрощувати і підключати до передавачів і приймачів. Апертура цього волокна лише ненабагато більше, ніж у волокна діаметра 62,5 мкм, і не компенсує дуже високе загасання і низьку пропускну здатність.

Волокно діаметра 50 мкм можна використовувати з накінчиками і передаючим і приймаючим обладнанням для волокон діаметра 62,5 мкм, оскільки в обох типорозмірів однаковий діаметр оболонки. При цьому буде невелика втрата через розбіжність серцевин волокон.

Багатомодові волокна виготовляють двох видів:

- із ступінчастим профілем показника заломлення;
- з плавним профілем показника заломлення.

Волокно зі ступінчастим профілем складається з скляної серцевини з постійним показником заломлення на всьому перетині, оточеного оболонкою з іншим постійним на всьому перерізі показником заломлення. Через стрибкоподібні зміни показника

заломлення, світло відбивається від поверхні серцевина / оболонка і проходить всередині серцевини.

У волокон зі ступінчастим профілем значна модова дисперсія. Вона становить від 15 до 40 наносекунд на кілометр і обмежує смугу пропускання приблизно до 25 МГц / км. Це, в свою чергу, обмежує швидкість цифрової передачі. Що прийнятно для багатьох промислових додатків, де потрібні лише невеликі швидкості передачі, але недостатньо для більшості (комерційних телекомунікаційних додатків, для яких потрібні значно великі швидкості передачі даних.

У багатомодового волокна з плавним профілем, показник заломлення серцевини поступово змінюється протягом його перетину. У центрі серцевини показник заломлення максимальний; він поступово знижується до країв серцевини. Через плавну зміну показника заломлення, світлові промені в міру просування по серцевині викривляються (а не відбиваються, як у волокнах із ступінчастим профілем) і утворюють у волокні набір синусоїдальних світлових хвиль.

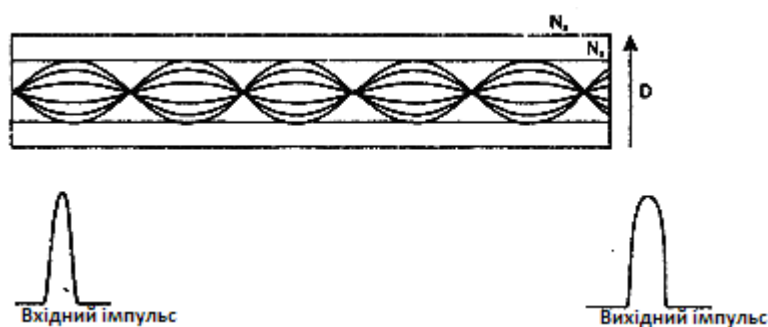


Рис. 1.4 Передача сигналу по багатомодовому волокну з плавним профілем показника заломлення

Практичним результатом цього профілю змінного показника заломлення є те, що світлові промені, що проходять далі від осі серцевини, проходять більшу відстань, але рухаються через скло з меншим показником заломлення швидше. Світлові промені, що рухаються поблизу від центру серцевини, проходять меншу відстань, але рухаються через скло з великим показником заломлення і тому повільніше. В

результаті всі промені мають тенденцію прибувати в центральну точку осі волокна в один і той же час, що означає значне зниження модової дисперсії.

Показник заломлення центру серцевини дорівнює приблизно 1,48, у міру наближення до оболонки він поступово знижується до 1,46. Кут прийому θ_1 зазвичай близько 12° (апертура приблизно 0,2).

На практиці у волокон з плавним профілем модова дисперсія нижче 5 наносекунд, а смуга пропускання кабелів високої якості досягає 2 ГГц / км для робочих довжин хвиль як 850 мкм, так і 1300 мкм. Це дозволяє використовувати швидкості передачі даних до 1 Гбіт / с для волокна з параметрами краще 2 ГГц / км (використовуються лазерні передавальні пристрої VCSEL). Цей тип волокон підходить практично для всіх промислових застосувань і для ряду комерційних комунікаційних додатків. Хоча модова дисперсія волокон з плавним профілем у порівнянні із ступінчастим профілем нижче, вона все ще значна і має обмежуючий ефект на смугу пропускання. Деякі волокна з плавним профілем виготовляють таким способом, що між показниками заломлення серцевини і оболонки немає різниці, він просто поступово знижується від центру осі в сторону кожуха.

Ефекти при передачі оптичного сигналу:

Розрізняють три типи дисперсії, кожен з яких викликаний тими або іншими причинами:

1. Міжмодова дисперсія.
2. Хроматична дисперсія (об'єднання матеріальної та хвилеводної дисперсії).
3. Поляризаційна модова дисперсія (PMD).

Міжмодова дисперсія. Світло, що розповсюджується по багатомодовому волокну представлене багатьма траєкторіями променів, шлях кожного з яких в серцевині волокна відрізняється один від одного. До приймального кінця волокна енергія різних мод прибуває з якоюсь затримкою в часі по відношенню до основної моди. Це викликає розмазання прийнятого імпульсу, що безумовно надає деструктивну дію, оскільки частина енергії, що розмазана, потрапляє в бітовий інтервал сусіднього біта.

Якщо в цей бітовий інтервал потрапить достатня кількість енергії, що розмазана, то з вірогідністю 50% сусідній біт буде прийнятий з помилкою.

Хроматична дисперсія. Головною складовою дисперсії в багатомодових волокнах є модова дисперсія. В одномодових волокнах немає складових модової дисперсії. В одномодових волокнах, а також багатомодових волокнах з плавним профілем показника заломлення мають місце більш складні проблеми з дисперсією.

Два види дисперсії, які потрібно зазначити:

- дисперсія матеріалу;
- дисперсія хвилеводу.

Їх об'єднують разом і називають хроматичної дисперсією.

Причина появи інших видів дисперсії полягає в тому, що показник заломлення скла є функцією від довжини хвилі. Отже, згідно закону Снелла швидкість світла також буде функцією від довжини хвилі. Тому загальні результати проходження мод залежно від показника заломлення залежать також і від довжини хвилі. Феномен дисперсії матеріалу виникає через те, що джерела світла випромінюють сигнал, що містить набір різних довжин хвиль. Жодне джерело світла не може зробити лише одну частоту (довжину хвилі). Воно буде виробляти спектр, розподілений навколо центральної частоти. Оскільки різні довжини хвиль проходять по одному і тому ж матеріалу, вони насправді будуть мати справу з різними показниками заломлення. Відносно закону Снелла це означає, що різні промені світла будуть рухатися з різними швидкостями. Результат цього подібний по природі (але менше за значенням) з модовою дисперсією, коли промені світла сягають кінця волокна в різний час. Цей феномен особливо помітний при використанні в якості джерел світла світлодіодів, оскільки вони випромінюють дуже широкий спектр довжин хвиль. Однак дисперсія матеріалу значно менше за величиною в порівнянні з модовою дисперсією і зазвичай не є проблемою при використанні світлодіодів, якщо тільки система не працює на порівняно високих швидкостях з довжиною хвилі 850 нм. Використання в якості джерел світла лазерів значно знижує дисперсію матеріалу, оскільки лазер надає

когерентний пучок світла з дуже вузьким розмахом спектра (тобто діапазоном довжин хвиль).

При виробництві одномодових волокон знижується не тільки діаметр, але і різниця в показниках заломлення сердечника і оболонки. Тут зникає ефект модової дисперсії, але значною проблемою стає матеріальна дисперсія. Дія матеріальної дисперсії стає більш значним через більшу смугу пропускання (швидкість передачі даних), очікуваних від такого волокна. Наприклад, дисперсія у кілька пікосекунд при швидкості передачі даних 10 Гбіт / с може викликати серйозні спотворення даних. Другим різновидом, що утворює хроматичну дисперсію, є хвилеводна дисперсія. Вона має місце в одномодових волокнах (які мають ступінчастий профіль показника заломлення), коли частина світлової енергії передається через оболонку. Дисперсія виникає через більшої швидкості проходження світла по оболонці з меншим показником заломлення, ніж по сердечнику з великим показником заломлення. Ступінь дисперсії хвилеводу залежить від частки світлових променів, що проходять по оболонці.

Хроматична дисперсія в реальних умовах є мірою зміни показника заломлення залежно від довжини хвилі (пс / нм / км). З цієї причини міру дисперсії можна розглядати як позитивну або негативну. Тобто в результаті зміни довжини хвилі показник заломлення може зростати або зменшуватися. Дисперсія матеріалу має позитивний нахил, а дисперсія хвилеводу - негативний нахил кривої зміни. При довжині хвилі приблизно 1300 нм ці два види дисперсії мають тенденцію компенсувати один одного. Це називають довжиною хвилі з нульовою дисперсією. У фізичному сенсі можна уявити, що матеріальна дисперсія змушує імпульс поширюватися швидше (у порівнянні з іншими довжинами хвиль), а хвилеводна дисперсія змушує імпульс поширюватися повільніше, тому сумарним ефектом є часткове припинення цього руху.

У зв'язку з цим в даний час високошвидкісні волоконно-оптичні системи зв'язку з найбільш помірними цінами мають тенденцію працювати на довжині хвилі 1310 нм.

Якщо потрібна робота з дуже високими швидкостями на довгих дистанціях, використовується довжина хвилі 1550 нм.

Хроматична дисперсія є головним чином функцією від довжини хвилі і не залежить від того, чи є кабель багатомодовим або одномодовим. Постачальники кабелів зазвичай вказують в технічних характеристиках значення хроматичної дисперсії. Одиниця виміру дається в пікосекундах розширення імпульсу на кілометр волокна на нанометр спектрального діапазону джерела світла (смуги пропускання джерела). Зазвичай більш кращим є робота на довжині хвилі 1550 нм, оскільки та цій довжині хвилі в порівнянні з 1300 нм загасання сигналу менше. Але при роботі на цій довжині хвилі виникає дисперсія. До деякої міри можна подолати використанням лазерного джерела світла, що випромінює у вузькому спектральному діапазоні, тобто з дуже вузькою смугою частот. Цей тип лазера зазвичай використовується на далеких відстанях. Зазначимо, що це знижує розширення імпульсу, що виникає через кількість переданих частот, але не через властиву самому волокну хроматичної дисперсії.

Іншим методом є використання так званих "волокон зі зміщеною дисперсією". При цій методиці використовуються волокна, що мають меншу хроматичну дисперсію при 1550 нм. Неможливо змінити загальний вплив матеріальної дисперсії, оскільки вона залежить від самого матеріалу скла: Однак, оскільки хвилеводна дисперсія утворюється за рахунок того, що деяка частина світлових променів проходить по оболонці, можна змінити будову серцевини і оболонки (а також додати додаткові шари оболонки) таким чином, що хвилеводна дисперсія зміститься нижче і зрушить довжину хвилі нульової дисперсії в напрямку до 1550 нм. Ця методика добре працює лише при надзвичайно низькому збільшенні загасання, але вартість виробництва волокон значно зростає.

Типовим використовуваним сьогодні волокном зі зміщеною дисперсією є волокно зі зміщеною ненульовою дисперсією (non-zero dispersion shifted fiber - NZ DSF). Воно інтенсивно використовується для систем DWDM, що працюють на відстанях понад 70 км в діапазоні від 1440 до 1625 нм. Воно допомагає також

компенсувати інші нелінійні спотворення, що виникають в одномодових системах, такі, як змішування хвиль і фазова модуляція. Типове для волокна NZ DSF значення дисперсії становить менше 8 пс / нм / км.

Волокна NZ DSF розроблені для використання на високих швидкостях передачі даних і інтенсивно використовуються спільно з 40 Гбіт / с лазерами. Зазвичай встановлюють лінії зв'язку без повторювачів на відстанях до 300 км для швидкості 2,5 Гбіт / с.

Одним з найважливішим компонентів, що визначає надійність і довговічність ВОЛЗ, є волоконно-оптичний кабель (ВОК).

Визначальними параметрами при виробництві ВОК є умови експлуатації і пропускна здатність лінії зв'язку.

За умовами експлуатації кабелі підрозділяють на:

- монтажні
- станційні
- зонові
- магістральні

Перші два типи кабелів призначені для прокладки всередині будівель і споруд. Вони компактні, легкі і, як правило, мають невелику будівельну довжину.

Кабелі останніх двох типів призначені для прокладки в колодязях кабельних комунікацій, в ґрунті, на опорах вздовж ЛЕП, під водою. Ці кабелі мають захист від зовнішніх впливів і будівельну довжину більше двох кілометрів. Для забезпечення великої пропускної здатності лінії зв'язку виробляються ВОК, що містять невелику кількість (до 8) одномодових волокон з малим загасанням, а кабелі для розподільних мереж можуть містити до 144 волокон як одномодових, так і багатомодових, залежно від відстаней між сегментами мережі.

При виготовленні ВОК в основному використовуються два підходи:

- конструкції з вільним переміщенням елементів
- конструкції з жорсткою зв'язкою між елементами

За видами конструкцій розрізняють кабелі повивного скручування, пучкового скручування, кабелі з профільною серцевиною, а також стрічкові кабелі. Існують численні комбінації конструкцій ВОК, які в поєднанні з великим асортиментом застосовуваних матеріалів дозволяють вибрати виконання кабелю, що найкращим чином задовольняє всім умовам проекту, в тому числі - вартісним.

Особливий клас утворюють кабелі, вбудовані в грозотрос.

Способи зрощування будівельних довжин кабелів:

Зрощування будівельних довжин оптичних кабелів здійснюється з використанням кабельних муфт спеціальної конструкції. Ці муфти мають два або більше кабельних введень, пристосування для кріплення силових елементів кабелів і одну або декілька сплайс-пластин. Сплайс-пластина - це конструкція для укладання й закріплення зрощуваних волокон різних кабелів.

Оптичні з'єднувачі:

Після того, як оптичний кабель прокладений, необхідно з'єднати його з приймально-передавальною апаратурою. Зробити це можна за допомогою оптичних конекторів (з'єднувачів). У системах зв'язку використовуються конектори багатьох видів.

Оптичні конектори і роз'єми:

Головними параметрами передачі оптичних конекторів є внесене згасання і зворотне відображення. Ці параметри залежать, головним чином, від таких факторів, як поперечне зміщення осей і кута між ними, а також від Френелівського відображення оптичного сигналу на межі розділу двох оптичних середовищ.

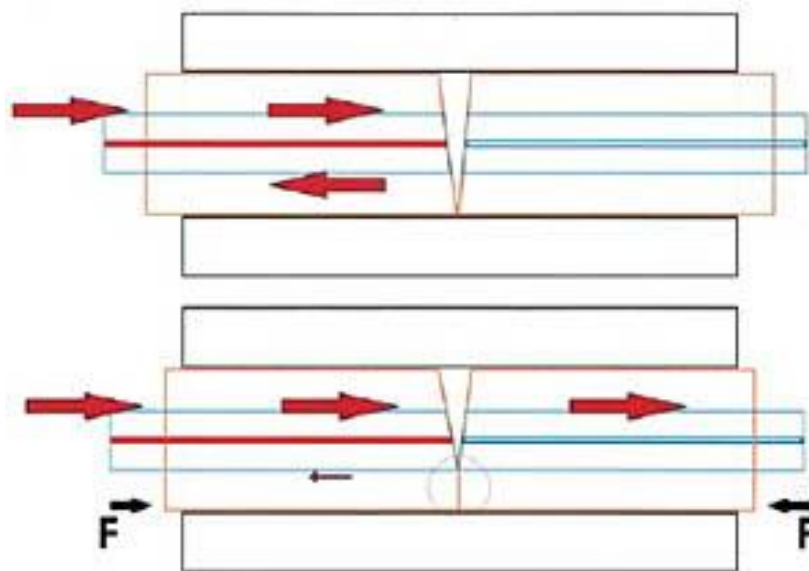


Рис. 1.5. Внесені втрати за рахунок скосів при поліврці

Найбільше значення для оцінки втрат, що вносяться роз'ємним з'єднанням, має оптичне загасання. Цей параметр робить основний вплив на величину сумарних втрат в оптичному тракті. Величина оптичного загасання головним чином залежить від роз'юстіровки (поперечного відхилення) серцевин стикуємих оптичних волокон.

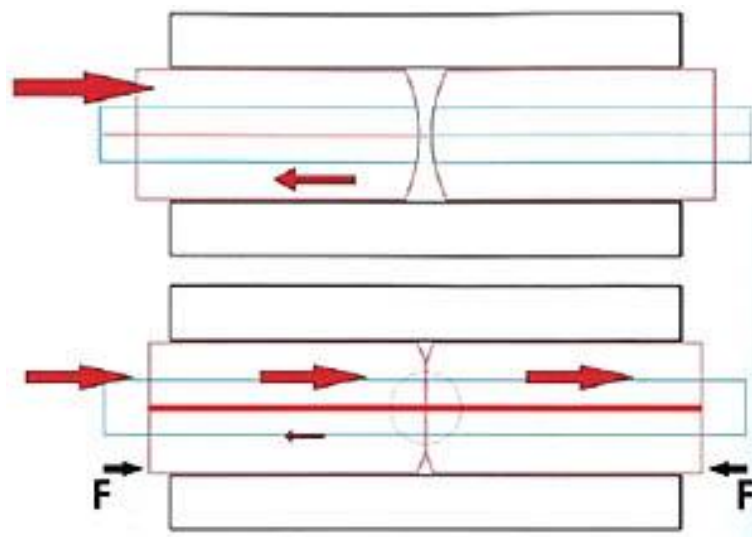


Рис. 1.6. Формування внесених втрат в конекторах РС та UPC

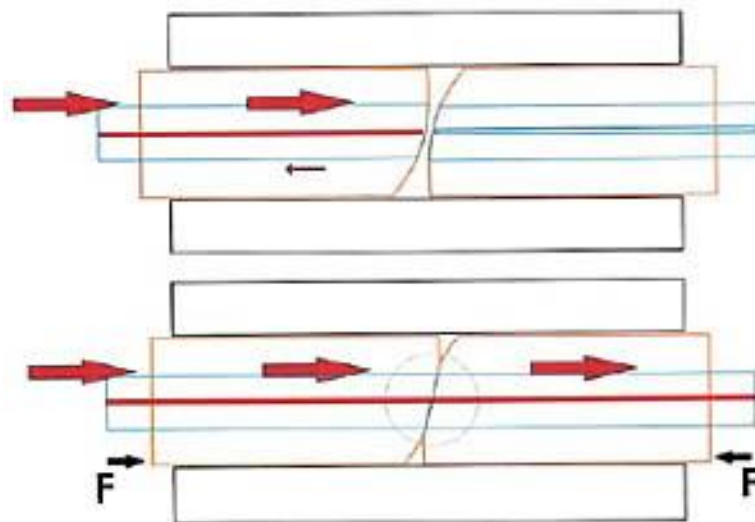


Рис. 1.7 Оптичний контакт в конекторах APC

Крім внесеного загасання, важливою оптичною характеристикою є зворотнє відображення. Основне джерело відбитого сигналу - межа розділу двох середовищ, наприклад матеріал оптичного волокна і повітря. Ця складова втрат може досягати значних величин. Крім того, зворотнє відображення є непостійним у часі. Під впливом зовнішніх впливів воно в кінцевому підсумку може порушити стабільність роботи системи. Найбільш серйозні проблеми зворотнє відображення створює для вузькосмугових лазерів з високою когерентністю випромінювання (які, наприклад, використовуються в DWDM-системах і в обладнанні для мереж кабельного телебачення).

Внаслідок невеликої кількості роз'ємних з'єднань в тракті, вимоги до величини внесених ними втрат були дещо знижені в порівнянні з вимогами, що пред'являються, наприклад, до зварних з'єднань. Це дозволило значно спростити конструкцію і знизити вартість.

Виробники пропонують різні технології окінцювання, тобто монтажу конекторів на оптичні волокна. На певному етапі передбачалося, що технологія створення роз'ємних з'єднань буде включати в себе технологічні операції по закріпленню з'єднаних оптичних волокон в штекері-заготівлі за допомогою хімічного фіксатора. В якості фіксатора використовувався епоксидний клей або його

аналоги. Після закріплення волокно необхідно було сколоти, а потім особливим чином відполірувати торець роз'єму з виступаючим волокном до досягнення необхідних форм торця.

З метою прискорення процесу інсталяції були розроблені технології без використання епоксидного клею. Такі технології використовують механічну фіксацію волокна вбудованими в коннектор зажимами, термофіксацією клеями-розплавами і т.п. Проте з часом популярність подібних технологій знизилася. Ймовірно, причинами цього стала холоднотекучість клеїв-розплавів під тиском, внаслідок чого оптичне волокно всередині коннектора з часом зміщувалося уздовж осі, а це тягло за собою погіршення або втрату фізичного контакту, і, отже, зростання внесених втрат і зворотних відображень.

В даний час найбільшого поширення набули коннектори з вмонтованим відрізком оптичного волокна в буферному і вторинному покриттях. Цей відрізок стикується з волокном кабелю. Незважаючи на те, що замість одного місця стику виходить два, така технологія добре зарекомендувала себе на практиці. Її основна перевага - відсутність при окінцюванні волокон технологічної операції полірування торця коннектора, що вимагає великих витрат часу, а для високошвидкісних мереж - ще й дорогого устаткування шліфування й контролю. Ці процедури проводяться в стаціонарних умовах на підприємстві-виробнику. Подібний підхід дозволяє виробнику практично нескінченно покращувати якість полірування торців з'єднаних волокон, використовувати нові технології, спрямовані на скорочення втрат і поліпшення параметрів оптичних роз'ємів, не змушуючи при цьому покупця купувати все більш досконале (і, зрозуміло, дороге) обладнання для остаточної підготовки роз'ємів до роботи.

Технологічно складно домогтися отримання повністю перпендикулярних торців з ідеальними поверхнями контакту в процесі полірування волокон. Мінімізація величини відбитого сигналу вимагає гарантованої відсутності повітряного зазору між серцевинами стикуємих оптичних волокон. Для досягнення цього торці стикуємих волокон поліруються таким чином, щоб отримати сферичні поверхні. При стикуванні

задається поздовжній притиск волокон, що викликає пружну деформацію торців волокон і оптичний контакт в області серцевин з'єднуються волокон, при якому повітряний зазор між ними стає мінімальним.

Види конекторів за типом полірування:

1) Плоскі конектори (Flat connectors) Одним з перших рішень з підготовки торцевих поверхонь було полірування торця наконечника з укріпленням в ньому оптичним волокном перпендикулярно осі волокна. Щоб уникнути безпосереднього контакту волокон, який може привести до серйозних пошкоджень, подряпин і сколів, при такому підході реалізується поглиблення близько декількох мікрометрів (2-3 мкм). Для поліпшення характеристик іноді застосовується іммерсійний гель, коефіцієнт заломлення якого близький до матеріалу оптичного волокна. Гель заповнює зазор між наконечниками.

2) Конектори серії PC

Спосіб підготовки торцевих поверхонь під назвою "фізичний контакт" (Physically Contact - PC) передбачає фіксацію оптичного волокна в алюмінієвому наконечнику. Торець певним чином полірується з метою досягнення повного контакту торцевих поверхонь. Однак при поліровці волокна відбуваються негативні зміни поверхневого торцевого шару в інфрачервоному діапазоні, обумовлені механічними змінами при поліровці.

3) Конектори серії SPC (Super Physically Contact)

Для поліпшення контакту оптичного волокна радіус сердечника був звужений до 20 мкм, а в якості матеріалу наконечника використовувався більш м'який цирконій. Завдяки цьому підходу знизилися такі дефекти полірування, як скоси. Можливість вигину цирконію на субмікронних рівні дозволила волокну контактувати навіть при скосах в сотні мікрон без значного погіршення параметрів. Однак проблему інфрачервоного шару таке полірування залишає невирішеною.

4) Конектори серії UPC

Методика полірування торців UPC (Ultra Physically Contact) характеризується малими напруженнями. Полірування здійснюється під контролем складних і дорогих

систем управління. В результаті усувається проблема поверхневого інфрачервоного шару. Параметр відображення значно поліпшений і такі коннектори можуть застосовуватися в високошвидкісних системах.

5) Коннектори серії APC

Найбільш дієвим способом зниження рівня енергії відбитого сигналу є метод полірування торців оптичних волокон під кутом 8-12 ° від перпендикуляра до осі волокна (Angled Physically Contact - APC). У такому стику відбитий світловий сигнал поширюється під кутом більшим, ніж кут, під яким сигнал вводиться в оптичне волокно. APC-коннектори відрізняються кольоровим маркуванням хвостовиків (як правило, зеленого кольору), оскільки вони не можуть використовуватися спільно з конекторами іншого полірування. Слід зазначити, що деякі виробники міняють місцями найменування Super PC і Ultra PC, на що слід звертати увагу, щоб уникнути невідповідності з'єднань проектним параметрам. Особливо це стосується знову встановлюваних адаптерів і конекторів на лініях, де вже використовується продукція інших виробників.

Очевидно, що в ідеальній оптичній системі передачі інформації світловий потік повинен безперешкодно проходити трасу від джерела до приймача. Оптичне волокно - це ніщо інше, як та сама траса розповсюдження сигналу. Протягнути незбиране волокно від джерела до приймача не представляється можливим. Технологічна довжина волокна зазвичай не перевищує кількох кілометрів. І якщо цю проблему ще можна вирішити зварюванням світловодів, то забезпечення мобільності локальної оптичної підмережі досягається тільки із застосуванням кросового обладнання. Проблем передачі світлової хвилі від одного відрізка волокна до іншого не уникнути. Для багаторазового і простого підключення оптичних лінків світловоди можуть окінцьовуватись оптичними конекторами. Враховуючи, що сучасні світловоди - це мікронні технології, окінцівка волокна оптичними конекторами являє собою непросту задачу.

Різновиди конекторів за типом фіксації в розетці:

1) ST-коннектор

Одним з найпоширеніших представників в локальних оптичних мережах є ST-тип конектора (від англ. Straight Tip). Керамічний наконечник має циліндричну форму діаметром 2.5 мм з округленим торцем. Фіксація проводиться за рахунок повороту оправи навколо осі конектора, при цьому обертання основи конектора відсутні (теоретично) за рахунок паза в роз'ємі розетки. Направляючі оправи зчіплюються з упорами ST-розетки при обертанні вдавлюють конструкцію в гніздо. Пружинний елемент забезпечує необхідне притиснення.



Рис. 1.8. ST-коннектор

Слабким місцем ST-технології є обертальний рух оправи при підключенні / відключенні конектора. Воно вимагає великого простору для одного лінка, що важливо в багатопортових кабельних системах. Більше того, обертання накінечника відсутні тільки теоретично. Навіть мінімальні зміни положення останнього тягнуть зростання втрат в оптичних з'єднаннях. Накінечник виступає з основи конструкції на 5-7 мм, що веде до його забруднення.

2) SC-коннектор

Слабкі сторони ST-конекторів в даний час вирішують за рахунок застосування SC-технології (від англ. Subscriber Connector). Перетин корпусу має прямокутну форму. Підключення / відключення конектора здійснюється поступальним рухом по напрямних і фіксується засувками. Керамічний накінечник також має циліндричну форму діаметром 2.5 мм з округленим торцем (деякі моделі мають скіс поверхні). Накінечник майже повністю покривається корпусом і тому менш схильний до забруднення ніж в ST-конструкції. Відсутність обертальних рухів обумовлює більш обережне притиснення накінечників.

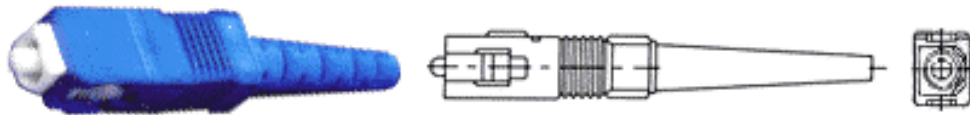


Рис. 1.9. SC-коннектор

У деяких випадках SC-коннектори застосовуються в дуплексному варіанті. На конструкції можуть бути передбачені фіксатори для спарювання конекторів, або застосовуватися спеціальні скоби для угруповання корпусів. Коннектори з одномодовим волокном зазвичай мають блакитний колір, а з багатомодовим сірий.

3) LC-коннектор

Коннектори типу LC - це малогабаритний варіант SC-конекторів. Він також має прямокутний перетин корпусу. Конструкція виконується на пластмасовій основі і забезпечена клямкою, подібна клямці, що застосовується в модульних коннекторах мідних кабельних систем. Внаслідок цього і підключення коннектора проводиться схожим чином. Накінечник виготовляється з кераміки і має діаметр 1.25 мм.



Рис. 1.10 LC-коннектор

Використовуються для багатопортових систем.

4) FC-коннектор

В одномодових системах зустрічається ще один різновид конекторів - FC. Вони характеризуються відмінними геометричними характеристиками і високим захистом накінечника.



Рис 1.11 FC-коннектор

З'єднання оптичних конекторів:

Принципово з'єднання двох оптичних конекторів кросового обладнання будується за наступною схемою: Платформою для установки конекторів служить розетка. Вхідні в неї конектори фіксуються таким чином, щоб осі їх наконечників були відцентровані, паралельні і щільно притиснуті. Подібні розетки зазвичай встановлюють в патч-панелі або вставки монтажних коробів.

Таблиця 1.1

Характеристики втрат конекторів

Тип конектора	Накінецьник	Втрати (Дб) при 1300 нм	
		Багатомодовий	Одномодовий
ST	Кераміка	0.25	0.3
SC	Кераміка	0.2	0.25
LC	Кераміка	0.1	0.1
FC	Кераміка	0.2	0.6

1.3. Активні компоненти оптичних систем

До активних компонентів оптичних систем можна віднести:

1) Мультиплексор/Демюльтиплексор — клас приладів, які виконують функції по об'єднанню та розділенню інформаційних каналів. Мультиплексори та демюльтиплексори можуть працювати у часової та у частотній областях, також можуть бути електричними й оптичними (для систем із спектральним ущільненням).

2) Регенератор — пристрій, що відновлює форму оптичного імпульсу, який, розповсюджуючись по волокну, зазнає спотворення та загасання. Регенератори бувають як тільки оптичними, так й електричними, які здійснюють перетворення оптичного сигналу у електричний, відновлюють його, а потім знову перетворюють у оптичний.

3) Підсилювач — пристрій, що підсилює потужність сигналу. Підсилювачі, як і регенератори також можуть бути оптичними і електричними, здійснюючими оптико-електронне і електронно-оптичне перетворення сигналу.

4) Лазер — джерело монохромного когерентного оптичного випромінювання. У системах з прямою модуляцією, які є найбільш поширеними, лазер одночасно є і модулятором, що безпосередньо перетворює електричний сигнал в оптичний.

5) Модулятор — пристрій, що модулює оптичну хвилю, несучу інформацію за законом інформаційного електричного сигналу. У більшості систем цю функцію виконує лазер..

6) Фотоприймач (фотодіод) — пристрій, що призначений для прийому оптичного випромінювання, здійснює опто-електронне перетворення сигналу.

ВИСНОВОК ДО РОЗДІЛУ 1

Волоконно-оптичні лінії зв'язку – це найбільш перспективне рішення, оскільки вони забезпечують високу збереженість інвестицій завдяки високій пропускній здатності і можливості збільшувати її в міру необхідності в тисячі разів до терабіт в секунду шляхом модернізації каналостворюючого обладнання та застосування різних технологій ущільнення каналу зв'язку.

Найкраща пропускна здатність, можливість будувати протяжні лінії без повторювачів, висока надійність, якість і стабільність зв'язку з малими затримками при передачі, все це робить волоконно-оптичні лінії найкращим середовищем для організації магістральних каналів зв'язку. Значні перспективи в їх розвитку та розповсюдженню тільки підтверджують, що майбутнє сучасних телекомунікаційних мереж за ними.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИ РЕАЛІЗАЦІЇ МАГІСТРАЛЬНИХ КАНАЛІВ

2.1. Транспортні технології магістральних мереж

Визначившись, що волоконно-оптичні лінії зв'язку найкраще середовище передачі інформації для магістральних каналів, потрібно визначити технологію, яка буде транспортувати дані по фізичній мережі.

Основними магістральними транспортними технологіями на сьогодні є наступні: SONET / SDH, ATM, POS (Pocket over Sonet), WDM, Gigabit / 10 Gigabit Ethernet:

1) SONET / SDH.

Спочатку основним завданням телекомунікаційних структур була передача голосового трафіку. Власне, потоки оцифрованого звуку агрегуються і передаються по високошвидкісних каналах. Агрегування відбувається за технологією часового мультиплексування каналів Time Division Multiplexing (TDM) - даним підканалів послідовно надаються інтервали часу, протягом яких здійснюється передача. Безпосереднє злиття і поділ каналів виробляють спеціальні пристрої - мультиплексори. Для мультиплексування потоків інформації при формуванні потужних регіональних та міжрегіональних каналів були розроблені стандарти для високошвидкісних оптичних мереж зв'язку - спочатку PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy - плезиохронна цифрова ієрархія), а потім і більш досконала SDH (Synchronous Digital Hierarchy - синхронна цифрова ієрархія), поширена в Європі, і її американський аналог SONET. SONET / SDH передбачає використання методу тимчасового мультиплексування і синхронізацію тимчасових інтервалів трафіку між елементами мережі визначає рівні швидкостей проходження даних і фізичні параметри.

Основними пристроями є мультиплексори, а фізичним середовищем передачі - оптоволокну. При побудові мережі SDH зазвичай використовується топологія подвійного кільця. По одному кільцю передається синхронізуюча інформація, а по іншому - безпосередньо трафік. Використання кілець дає можливість автоматичного відновлення при аваріях. Сам метод передачі називається комутація каналів.

Основними достоїнствами даної технології є стандартизованість, масштабованість і висока надійність (час відновлення порядку 50 мс). До недоліків можна віднести орієнтацію на передачу голосового трафіку, фіксовану смугу пропускання, не залежну від завантаження каналів, і неефективне використання кілець. Основна область її застосування - первинні мережі операторів зв'язку. Мультиплексори, об'єднані оптичними лініями зв'язку, утворюють єдине середовище, в якій прокладаються цифрові канали між обладнанням телефонних мереж чи мереж передачі даних. Крім того, технологія SONET / SDH може бути транспортною основою для більш сучасних протоколів, таких як ATM, POS і MPLS.

2) ATM

Свого часу, з метою створення мультисервісної (для всіх існуючих видів трафіку: голос, відео, інтернет) і високошвидкісної технології передачі даних з'явилася Asynchronous Transfer Mode - ATM. Великого розвоєсудження не сталося, але для побудови магістралей ATM стала використовуватись. Орієнтація на високі швидкості визначила найбільш бажаних фізичне середовище передачі для ATM - оптичне волокно. Дуже часто магістральні мережі ATM виконуються накладенням на існуючу інфраструктуру SONET / SDH, що спочатку передбачено стандартом. Однак даний метод неефективний і, природно, поступається безпосередньому з'єднанню ATM обладнання.

Технологія ATM - транспортний механізм, який використовує метод передачі пакетів невеликого розміру (53 байти) фіксованої довжини. Це мінімізує затримки при проходженні і спрощує комутацію, яка відбувається послідовно. На додаток до комутації осередків концепція ATM базується на встановленні з'єднання між учасниками мережевої взаємодії - попередньо створюється так званий віртуальний

канал (прокладається маршрутизація). Далі комутація осередків відбувається на основі ідентифікаторів віртуального каналу (VPI / VCI), присутніх в заголовках. Крім того, АТМ відрізняє вбудована підтримка забезпечення гарантованої якості обслуговування, що дозволяє реалізувати Service Level Agreement (SLA).

В даний час спостерігається помітне переважання трафіку IP над усіма іншими видами даних. І термін "мультисервісну" сьогодні швидше означає "різноманітність поверх IP". Передача IP пакетів в мережах АТМ може здійснюватися кількома способами і всі вони досить складні в реалізації і не позбавлені недоліків (у вигляді накладних витрат). Крім того, забезпечення високої швидкості передачі пакетів з мінімальною затримкою може бути досягнуто і іншими технічними рішеннями (з меншою вартістю), а не тільки на основі комутації маленьких фіксованих осередків.

3) POS

Для вирішення проблеми накладних витрат у разі передачі IP трафіку через мережі SONET / SDH з використанням АТМ була розроблена технологія Packet Over SONET / SDH (POS), безпосередньо інкапсулюють дані в кадри SDH. Практично отримується інтерфейс з IP адресою, який використовує всі переваги транспортної оптичної технології, не задіюючи ніяких проміжних протоколів.

4) Технологія GigabitEthernet / 10 GigabitEthernet В основі технології полягає обмін кадрами даних, використовуючи адресацію по мак-адресам. Історично технологія Ethernet виросла з локальних обчислювальних мереж (LAN). У цій якості Ethernet конкурувала з двома іншими технологіями Token Ring і FDDT і на протязі порівняно короткого часу перемогла ці дві технології і стала домінуючою. Трафік сучасних мереж практично повністю складається з кадрів Ethernet. Подальший розвиток технології пішов по шляху її масштабування, що можна представити як «розтягування локальної мережі до рівня ...». Від технології локальних мереж Ethernet прийшла в мережі MAN, тобто стали створюватися відкриті мережі міського масштабу. Потім вона була «розтягнута» до рівня міжміських та національних мереж. Технологія Ethernet стандартизована IEEE 802.3. У січні 2005 року було визначено чотири швидкості передачі даних, єдині для всіх типів мереж Ethernet: Ethernet на

швидкості 10 Мбіт / с, Fast Ethernet на швидкості 100 Мбіт / с, Gigabit Ethernet на швидкості 1 Гбіт / с і 10 Gigabit Ethernet на швидкості 10 Гбіт / с. Зазначений поділ відноситься до всіх несучих середовищ, включаючи виту пару, оптичний кабель і бездротові локальні мережі. Швидкості в 1 і 10 Гбіт / с підходять для транспортної мережі.

Істотною перевагою систем Ethernet є широка масштабованість, яка забезпечує ефективну конвергенцію між транспортною мережею та мережами доступу Ethernet. Крім того, технологія Ethernet є максимально наближеною до стека протоколів IP і найпоширенішим форматом для даних користувачів. Технологія Ethernet в своєму стрімкому розвитку вже давно переступила рівень локальних мереж. Вона позбулася колізій, отримала повний дуплекс і гігабітні швидкості. Широкий спектр дешевих рішень для оптичного транспорту - одномодові і багатомодові конвертери і модулі дозволяють сміливо впроваджувати Ethernet на магістралях. У зв'язку з цим, цілком природно виглядають проекти, де технологія GigabitEthernet використовується для побудови опорної частини мережі. Таке рішення є найбільш економічним, оскільки дозволяє відмовитися від спеціального каналостворюючого обладнання та використовувати в якості опорних пристроїв центральні маршрутизуючі комутатори. Відновлення мережі у випадку відмов окремих пристроїв буде здійснюватися за рахунок відповідних алгоритмів і протоколів самих маршрутизуючих комутаторів.

Сучасна технологія транспортних мереж Ethernet орієнтована на оптичну середу передачі і раніше використовувала одну з модифікацій технології Ethernet - Gigabit Ethernet (GE). Якщо сама технологія Ethernet народжувалася як технологія локальних мереж, а вже потім вийшла на рівень розподілених мереж і MAN, то GE з самого початку розроблялася під завдання MAN / WAN, так що GE доцільно використовувати в територіально розподілених мережах. При цьому GE є спадкоємицею класичної Ethernet і дуже просто сполучається з форматами даних локальних мереж. Таким чином, досягається інтеграція між локальними мережами та MAN / WAN. Будучи досить сучасною технологією, Gigabit Ethernet в повному обсязі адаптована до нових технологій та послуг в мережі, наприклад до технології MPLS.

Після стандартизації мереж Gigabit Ethernet розвиток цієї технології не зупинився. Більш того, дуже скоро були запропоновані нові рівні швидкостей, що призвело до появи нової технології високошвидкісного транспорту - 10 Gigabit Ethernet. Технологія 10 Gigabit Ethernet має дві відмінності від попередніх версій Ethernet. По-перше, на відміну від Gigabit Ethernet, яка може застосовуватися на рівні локальних і транспортних мереж, технологія 10 Gigabit Ethernet спочатку була запропонована тільки як транспортна. Як наслідок, в ній використовуються потужні оптичні трансивери з дальністю дії більше 40 км і одномодові кабелі, що використовуються у транспортних оптичних мережах. По-друге, в стандарт 10 Gigabit Ethernet була внесена спеціальна модифікація (опція WAN), що дозволяє прозораю транслювати дані 10 Gigabit Ethernet по транспортним мережам NGSDH. У багатьох випадках з'явилися рішення, що інтегрують технології SDH і 10 Gigabit Ethernet, а також комбіновані системи WDM / SDH / 10 GE. Стандарти 10 Gigabit Ethernet були прийняті, а обладнання поступово почало впроваджуватися на мережах, включаючи і мережі вітчизняних операторів. Сучасний етап розвитку технології Ethernet можна охарактеризувати як експлуатацію та нарощування мереж 10 GE на транспортних мережах WAN. В даний час оператори охоче впроваджують технології WDM і розгортають мережі 10 Gigabit Ethernet в різних каналах WDM. Такий підхід дозволяє отримувати дуже велику смугу пропускання з потенціалом, якого буде достатньо, враховуючи, що кількість трафіку помітно зростає з кожним роком, на тривалий час. Вже використовуються стандарти 40 Гб та впроваджуються 100Гб.

Класифікація типів Ethernet базується на основі швидкості передачі і середовища передачі. Стек мережевого протоколу і користувальницькі додатки працюють фактично ідентично у всіх варіантах технології Ethernet.

Гігабітний Ethernet (Gigabit Ethernet, 1 Гбіт / с):

- 1000BASE-X - загальний термін для позначення стандартів зі змінними прийомопередавач у форм-факторах GBIC або SFP.

- 1000BASE-SX, IEEE 802.3z - стандарт, який використовує багатомодове волокно в першому вікні прозорості з довжиною хвилі рівної 850 нм. Дальність проходження сигналу становить до 550 метрів.

- 1000BASE-LX, IEEE 802.3z - стандарт, який використовує одномодове або багатомодове оптичне волокно в другому вікні прозорості з довжиною хвилі рівної 1310 нм. Дальність проходження сигналу залежить тільки від типу використовуваних приймачів і, як правило, становить для одномодового оптичного волокна до 5 км і для багатомодового оптичного волокна до 550 метрів.

- 1000BASE-LH (Long Haul) - стандарт, який використовує одномодове волокно. Діяльність проходження сигналу без повторювача до 100 кілометрів.

10-гігабітний Ethernet (Ethernet 10G, 10 Гбіт / с):

- 10GBASE-SR - технологія 10-гігабітного Ethernet для коротких відстаней (до 26 або 82 метрів, залежно від типу кабелю), використовується багатомодове волокно. Він також підтримує відстані до 300 метрів з використанням нового багатомодового волокна (2000 МГц / км).

- 10GBASE-LX4 - використовує ущільнення по довжині хвилі для підтримки відстаней від 240 до 300 метрів по багатомодовому волокну. Також підтримує відстані до 10 кілометрів при використанні одномодового волокна.

- 10GBASE-LR і 10GBASE-ER - ці стандарти підтримують відстані до 10 і 40 кілометрів відповідно.

- 10GBASE-SW, 10GBASE-LW і 10GBASE-EW - ці стандарти використовують фізичний інтерфейс, сумісний за швидкістю і формату даних з інтерфейсом OC-192 / STM-64 SONET / SDH. Вони подібні до стандартів

- 10GBASE-SR, 10GBASE-LR і 10GBASE-ER відповідно, оскільки використовують ті ж самі типи кабелів і відстані передачі.

40-гігабітний Ethernet:

- 40GBASE-SR4 – підтримує відстані, як мінімум 100 метрів по OM3 MMF і як мінімум 125 метрів по OM4 MMF

- 40GBASE-LR4 - підтримує відстані, як мінімум 10 км по SMF 100-гігабітний Ethernet:

- 100GBASE-SR10 - підтримує відстані, як мінімум 100 метрів по OM3 MMF і як мінімум 125 метрів по OM4 MMF

- 100GBASE-LR4 - підтримує відстані, як мінімум 10 км по SMF

- 100GBASE-ER4 - підтримує відстані, як мінімум 40 км по SMF

5) Технологія WDM

Безперервно зростаючі обсяги трафіку вимагають підвищення пропускної здатності оптичних магістралей. Крім тривіального підвищення швидкостей передачі існує й інший спосіб вирішення даного завдання - ущільнення (мультиплексування) каналів. Найбільш розвинутою в даний час є технологія оптичного спектрального ущільнення, звана зазвичай мультиплексуванням з поділом за довжиною хвилі - Wavelength Division Multiplexing (WDM).

Принцип її дії дуже простий: потоки даних від окремих джерел переносяться світловими хвилями різної довжини (кожному каналу належить своя довжина - тобто частота) і об'єднуються мультиплексором в єдиний багаточастотний сигнал, який передається по оптичному волокну. На приймальній стороні відбувається зворотне перетворення.

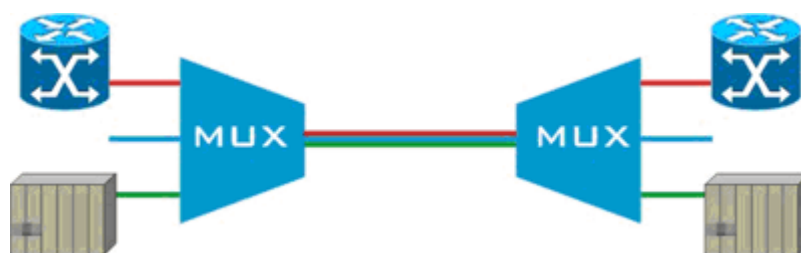


Рис. 2.1. Алгоритм мультиплексування WDM

Технологія WDM відповідає фізичному рівню мережевих взаємодій і працює незалежно від типу і формату переданих даних, тобто є протокольно незалежною. До WDM мультиплексору можна підключити практично будь-яке обладнання: SONET / SDH, ATM, Ethernet. Подібна гнучкість у поєднанні з величезною (за поточними

мірками) пропускною здатністю робить WDM ідеальною технологією для магістральної мережі.

2.2. Трансивери

Для підключення активних мережевих пристроїв до оптичної мережі на швидкості від 1,25 Гбіт / с використовують так звані змінні інтерфейси або трансивери. Найбільш популярним форм-фактором або виробничим стандартом трансиверів на сьогоднішній день є модулі SFP (Small Form-factor Pluggable). Виробничі стандарти трансиверів не є чієюсь власністю, розробляються і впроваджуються відповідно до міжнародних угод (MSA) і стандартами (ITU).

Стандарт SFP передбачає передачу інформації зі швидкістю 1Гбіт / с з можливістю передачі 100 Мбіт / с або тільки 100 Мбіт / с. Для передачі більш високошвидкісних потоків в подальшому були розроблені SFP + (10 Гбіт / с), XFP (10 Гбіт / с), QSFP + (40 Гбіт / с), CFP (100 Гбіт / с). Однак при більш високих швидкостях проводиться обробка сигналів на більш високих частотах. Це вимагає більшого тепловідводу і, відповідно, великих габаритів. Тому, власне, форм-фактор SFP зберігся ще тільки в модулях SFP +.

Оптичні трансивери, (модулі SFP, SFP +, SFP WDM, SFP CWDM, CISCO, XFP, X2, mini GBIC, GBIC, 1x9, 1x9 WDM) - приймально-передавальні пристрої, що зв'язують оптичні мережі з мідними мережами передачі, мережами Ethernet, шляхом перетворення переданого сигналу з оптичного в електричний. Вони є компактними і працюють з широким спектром телекомунікаційного обладнання: комутатори, медіаконвертери, мультиплексори, і т.д. Випускаються з оптичними інтерфейсами LC або SC, передача сигналів здійснюється в широкому діапазоні довжин хвиль від 850нм до 1610нм (залежить від типу пристрою).

Оптичний трансивер SFP являє собою змінний пристрій для оптичного мережевого обладнання зв'язку, завданням якого є перетворення потоку даних в оптичний сигнал, підтримують «гарячу» заміну і підключення.

Найбільш відомі наступні типи SFP модулів:

- SFP, Small Formfactor Pluggable;
- SFP +, Enhanced Small Formfactor Pluggable;
- QSFP, Quad (4 каналний) SmallForm-factor Pluggable;
- CFP, C-formfactor pluggable;
- XFP, десятигігабітний Small Formfactor Pluggable;
- GBIC, GigaBit Interface Converter.
- XENPAK;
- X 2;

Оптичні модулі (трансивери) - це компактні приймально-передавачі, що встановлюються в стандартизовані електричні порти на активному обладнанні (комутатори, маршрутизатори, мультиплексори, медіаконвертори ін.). Залежно від типу модуля і його характеристик, він дозволяє організувати різні по довжині і швидкості передачі тракти. При подальшому розвитку мережі є можливість «більш щільно» використовувати вже наявний оптичний кабель за рахунок застосування технологій спектрального ущільнення (мультиплексування) - WDM, CWDM, DWDM. Оптичні трансивери призначені для перетворення електричних сигналів в оптичні, що дозволяє надалі передавати сигнал по оптичному кабелю (залежно від типу модуля по одномодовому або мнгомодовому оптичному кабелю на необхідну відстань). З іншого боку відбувається зворотний процес - оптичний сигнал перетворюється приймально-передавачем в електричний.

На даний момент найбільш популярними є оптичні трансивери таких форм-факторів: SFP, SFP +, XFP, X2, QSFP.

SFP модулі (англ. Small Form-factor Pluggable) - промисловий стандарт модульних компактних приймально-передавачів (трансиверів), використовуваних для передачі даних в телекомунікаціях.

Найбільш поширені області застосування SFP - модулів - передача даних в телекомунікаційних мережах на швидкостях вище 100 Mbit / s з використанням наступних технологій:

- Ethernet: 100 Mbit / s, 1 Gbit / s, 1,25 Gbit / s, 10 Gbit / s, 20 Gbit / s;
- SDH: STM-1 (155 Mbit / s), STM-4 (622 Mbit / s), STM-16 (2.488 Mbit / s);
- Fibre Channel: 1, 2, 4, 8, 16 Gbit / s.

В основному, для підключення до модуля, використовується оптичний кабель, з роз'ємом типу LC або SC. Також існують модулі з електричним інтерфейсом (роз'єм RJ45). SFP модулі мають функцію цифрової діагностики (Digital Diagnostics Monitoring - DDM).

Стрімкий розвиток телекомунікаційних мереж призвів до збільшення швидкостей передачі, що сприяло появі нових типів (форм-факторів) оптичних трансиверів XFP, X2, XENPAK, SFP + - вони відрізняються великими габаритами. У даних трансиверах використовуються роз'єми типу LC або SC.

SFP + модулі (англ. Enhanced Small Form-factor Pluggable) - промисловий стандарт модульних компактних приймально-передавачів (трансиверів), використовуваних для передачі даних в телекомунікаціях. SFP + є розширеною версією трансивера SFP і здатний підтримувати швидкості передачі даних до 10 Gbit / s. За рахунок своїх малих габаритів кількість роз'ємів SFP + на стандартний 1U 19 " може бути істотно більше ніж інших роз'ємів 10G.

XFP модулі (10 Gbit / s Small Form Factor Pluggable) - це протокол-незалежний оптичний модуль. Зазвичай XFP-трансивери, використовуються в 10 Gbit / s додатках SONET / SDH, Fibre Channel, Gigabit Ethernet, 10 Gigabit Ethernet. Також є можливість використовувати XFP-модулі в технологіях спектрального ущільнення WDM, CWDM, DWDM. Крім того, XFP включає в себе цифрову діагностику.

Аналогічно двом перерахованим вище SFP + і XFP, трансивери X2 - призначені для формування сигналів в волокно-оптичних лініях на швидкості 10 Gbit / s. X2 - трансивери підтримують роботу наступних протоколів: 10 GE / Fibre Channel / STM-64, але XFP і X2 мають дещо більші розміри, у порівнянні з SFP +.

З появою і подальшим розвитком 40-гігабітного Ethernet і 100-гігабітного Ethernet, які за своєю суттю є наступним етапом розвитку групи стандартів Ethernet, що мали до 2010 року найбільшу швидкість в 10 Gbit / s, виникла необхідність у нових типах

оптичних модулів, які б дозволили працювати (передавати інформацію) на таких швидкостях. Саме оптичні модулі форм-фактора QSFP зайняли цю нішу.

QSFP - Quad (4-канальний) Small Form Factor Pluggable - використовується для обміну даними в додатках Ethernet, Fibre Channel, InfiniBand, SONET / SDH з різними швидкостями передачі даних і деякими іншими високошвидкісними протоколами передачі. QSFP модулі дозволяють збільшити щільність портів в 3-4 рази, в порівнянні з трансиверами форм-фактора SFP+. Саме таке розмаїття (в швидкостях передачі, типах використовуваних волокон і т.д.) роблять оптичні трансивери одними з головних елементів сучасної високопродуктивної мережі. Крім того, наявність такого величезного вибору серед оптичних приймально-передавачів, призначених для вирішення тієї чи іншої задачі, дозволяє оптимізувати витрати при проектуванні, і особливо при реконструкції оптичних мереж.

Сучасні оптичні трансивери, що дозволяють передавати дані по технології Ethernet зі швидкостями 10/100 Мбіт / с, 1 Гбіт / с, 10 Гбіт / с і 40 Гбіт / с, є досить затребуваними на ринку надання послуг зв'язку, інтернет та побудови корпоративних мереж зв'язку.

Враховуючи, що на даний час є дуже велике розмаїття DWDM - трансиверів, це дозволяє використовувати їх на протяжних магістральних каналах сумісно з технологією DWDM, що надає величезні можливості по масштабуванню та збільшенню пропускної здатності каналів, не використовуючи при цьому дуже дорогих транспондерів.

2.3. Основні принципи технології щільного хвильового мультиплексування

Історично першими виникли двоххвильові WDM системи, що працюють на центральних довжинах хвиль з другого і третього вікон прозорості кварцового волокна (1310 і 1550 нм). Головним достоїнством таких систем є те, що через велике спектральне рознесення повністю відсутній вплив каналів один на одного. Цей спосіб

дозволяє або подвоїти швидкість передачі по одному оптичному волокну, або організувати дуплексний зв'язок. Сучасні WDM системи на основі стандартного частотного плану (ITU-T Rec. G.692) можна поділити на три групи:

- Грубі WDM (CoarseWDM - CWDM) системи з частотним рознесенням каналів не менше 200 ГГц, що дозволяють мультиплексувати не більше 18 каналів (працюють в смузі від 1270нм до 1610нм).

- Щільні WDM (DenseWDM - DWDM) системи з рознесенням каналів не менше 100 ГГц. Щільне спектральне мультиплексування дозволяє одночасно передавати по одному оптичному волокну до 160 незалежних інформаційних каналів на різних оптичних несучих (довжинах хвиль). Частотний план для DWDM систем визначається стандартом ITU G.694.1. Згідно з рекомендаціями ITU в DWDM системах використовуються «С» (1525 ... 1565нм) і «L» (1570 ... 1610нм) вікна прозорості. У кожен діапазон потрапляють по 80 каналів з кроком 0.8нм (100ГГц). Зазвичай використовується тільки "С" діапазон, оскільки кількість каналів, які можна організувати в цьому діапазоні вистачає з надлишком, до того ж затухання у волокні стандарту G.652 в С-діапазоні трохи нижче, ніж в L-діапазоні.

- Високощільні WDM (HighDenseWDM - HDWDM) системи з розносом каналів 50 ГГц і менш, що дозволяють мультиплексувати не менше 64 каналів.

Традиційні технології телекомунікацій дозволяють по одному оптичному волокну передати тільки один сигнал. Суть технології спектрального, або оптичного ущільнення полягає в можливості організації безлічі розділених сигналів по одному волокну, а, отже, багаторазовому збільшенні пропускної здатності лінії зв'язку. Основи цієї технології були закладені в 1958, ще до появи самої волоконної оптики. Однак пройшло близько 20 років, перш ніж були створені перші компоненти мультиплексних систем. Спочатку вони створювалися для лабораторних досліджень, і лише в 1980 році технологія спектрального ущільнення (Wavelength Division Multiplexing, WDM) була запропонована для телекомунікацій. А ще через п'ять років в дослідницькому центрі компанії AT & T була реалізована технологія щільного

спектрального ущільнення (Dense Wavelength Division Multiplexing, DWDM), коли вдалося в одному оптичному волокні створити 10 каналів по 2 Gbps.

Це відбувається подібно до того, як видимий людським оком світло складається з різних кольорів, на які можна його розкласти, а потім знову зібрати, так і переданий по технології DWDM світловий потік, складається з різних довжин хвиль (λ).

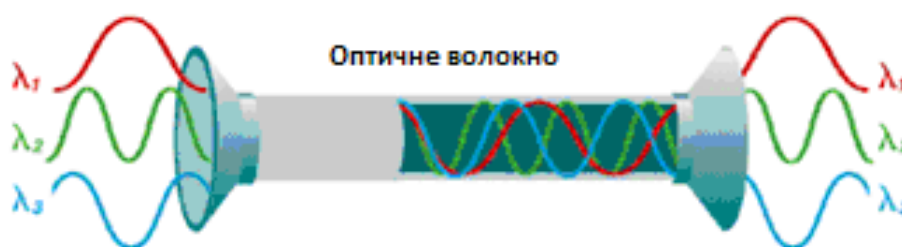


Рис 2.2 Приклад проходження різних довжин хвиль в одному волокні

Тобто по одному волокну можна передавати більше сотні стандартних каналів. Принципова схема DWDM досить проста. Для того щоб організувати в одному волокні кілька оптичних каналів сигнали «забарвлюють», тобто змінюють оптичну довжину хвилі для кожного такого сигналу. «Пофарбовані» сигнали змішуються за допомогою мультиплексора і передаються в оптичну лінію. У кінцевому пункті відбувається зворотня операція - «пофарбовані» сигнали виділяються з групового сигналу і передаються споживачеві. Звичайно, що для того щоб передавати по одному волокну безліч хвильових потоків, технологія DWDM забезпечена обладнанням особливої точності. У міру проходження через оптичне волокно сигнал поступово згасає. Для того щоб його підсилити, використовуються оптичні підсилювачі. Це дозволяє передавати дані на відстані до 4000 км без перекладу оптичного сигналу в електричний (для порівняння, в SDH ця відстань не перевищує 200 км).



Рис 2.3. Процес об'єднання/виділення оптичних сигналів

2.4 Компоненти системи DWDM

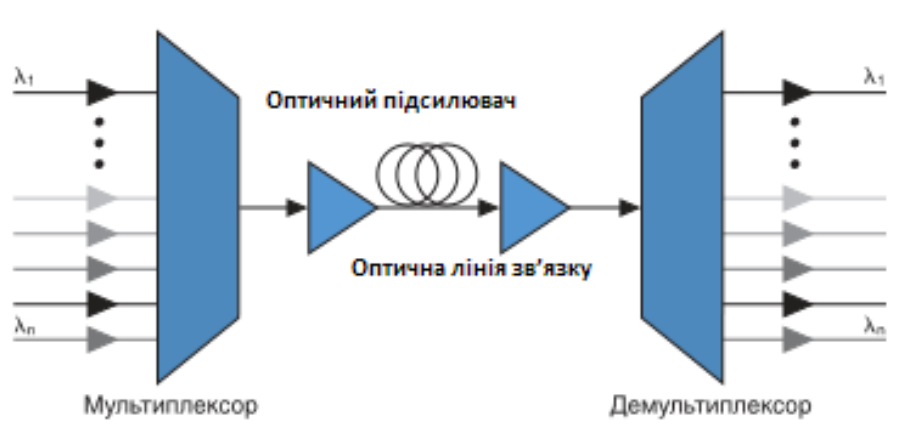


Рис 2.4. Схема реалізації WDM

Загальна структура WDM системи N спектральних каналів складається з передавального термінального блоку оптичного мультиплексування, приймального термінального блоку оптичного мультиплексування (ОМТ) і блоку лінійного оптичного ретранслятора (OLA).

Якщо їх класифікувати за складом, то:

- Блок оптичного транспондера (OTU)
- Мультиплексор з поділом за довжиною хвилі: блок оптичного мультиплексора / демультиплексора (ODU / OMU)
- Оптичний підсилювач (BA / LA / PA)
- Оптичний супервізорний канал (OSC)

Блок переміщення спектрального каналу перетворює довжину хвилі в стандартний спектр ІТУ-Т. Система використовує перетворення оптичний / електричний / оптичний (О / Е / О), тобто фотодіод перетворює прийнятий оптичний сигнал в електричний і потім електричний сигнал перетворюється в оптичний певної довжини хвилі, таким чином, виходить, що спектральний сигнал відповідає вимогам. Мультиплексор з поділом за довжиною хвилі можна класифікувати в передавальний оптичний мультиплексор. Оптичний мультиплексор використовується на передавальному кінці системи передачі. Це компонент з кількома входами і одним виходом. Кожен з вхідних портів служить для введення сигналу із заданою довжиною хвилі. Введені світлові хвилі різного спектру виводяться через один вихідний порт. Оптичний демультиплексор використовується на приймаючому кінці системи передачі. Він навпаки має один вхідний і кілька вихідних портів, які ділять різні спектральні сигнали. Оптичний підсилювач не тільки безпосередньо підсилює оптичний сигнал, але і характеризується посиленням в режимі реального часу, високим коефіцієнтом, широкою смугою, малими шумами. Це обов'язковий ключовий компонент нових систем комунікації. Нині використовуються підсилювачі EDFA (Erbium-Doped Fiber Amplifier / Волоконний підсилювач з домішками ербію), SOA (Semiconductor Optical Amplifier / Напівпровідниковий підсилювач) і FRA (Fiber Raman Amplifier / Волоконний раманівський підсилювач) і т.д. Серед них у високошвидкісних волоконних лініях дальнього зв'язку великої ємності в якості передпідсилювача, лінійного підсилювача і підсилювача потужності найбільш широко використовуються EDFA підсилювачі. Оптичний супервізорний канал служить для моніторингу та управління системою передачі WDM. В основному використовується довжина хвилі 1510нм і пропускна здатність 2Мбіт / с. Чутливість приймача (не гірше 50дБм). Але вона нижче перед EDFA підсилювачем і вище після нього.

Для того, щоб компоненти систем WDM були взаємозамінні і могли взаємодіяти між собою, в системах WDM необхідно використовувати стандартний набір частот генерації лазерів. Всіма питаннями, пов'язаними зі стандартизацією

систем WDM займається міжнародний орган стандартизації - сектор стандартизації телекомунікацій Міжнародного союзу електрозв'язку ITU-T (International Telecommunications Union, ITU) в рамках дослідницької групи SG15 по транспортним мережам, системам і обладнанню (Study Group 15 on Transport Networks, Systems and Equipment). Специфікації ITU-T G.692 по оптичним інтерфейсам для багатоканальних систем з оптичними підсилювачами визначає стандартний набір частот - частотний план систем WDM. Частотний план ITU - це набір стандартних частот ν на основі базової частоти 193100 ГГц. Для кожної частоти дана відповідна довжина хвилі λ ($\lambda = c / \nu$, $c = 299792500$ м / с).

Провайдерам послуг зв'язку рекомендується використовувати оптичні частоти відповідно до частотного плану ITU.

Таблиця 2.1

Частотний план ITU

ν (ТГц)	λ (нм)	ν (ТГц)	λ (нм)	ν (ТГц)	λ (нм)	ν (ТГц)	λ (нм)	ν (ТГц)	λ (нм)
197,1	1521,02	195,0	1537,40	192,9	1554,13	190,8	1571,24	188,7	1588,73
197,0	1521,79	194,9	1538,19	192,8	1554,94	190,7	1572,06	188,6	1589,57
196,9	1522,56	194,8	1538,98	192,7	1555,75	190,6	1572,89	188,5	1590,41
196,8	1523,34	194,7	1539,77	192,6	1556,56	190,5	1573,71	188,4	1591,26
196,7	1524,11	194,6	1540,56	192,5	1557,36	190,4	1574,54	188,3	1592,10
196,6	1524,89	194,5	1541,35	192,4	1558,17	190,3	1575,37	188,2	1592,95
196,5	1525,66	194,4	1542,14	192,3	1558,98	190,2	1576,20	188,1	1593,79
196,4	1526,44	194,3	1542,94	192,2	1559,79	190,1	1577,03	188,0	1594,64
196,3	1527,22	194,2	1543,73	192,1	1560,61	190,0	1577,86	187,9	1595,49
196,2	1527,99	194,1	1544,53	192,0	1561,42	189,9	1578,69	187,8	1596,34
196,1	1528,77	194,0	1545,32	191,9	1562,23	189,8	1579,52	187,7	1597,19
196,0	1529,55	193,9	1546,12	191,8	1563,05	189,7	1580,35	187,6	1598,04
195,9	1530,33	193,8	1546,92	191,7	1563,86	189,6	1581,18	187,5	1598,89
195,8	1531,12	193,7	1547,72	191,6	1564,68	189,5	1582,02	187,4	1599,75
195,7	1531,90	193,6	1548,51	191,5	1565,50	189,4	1582,85	187,3	1600,60
195,6	1532,68	193,5	1549,32	191,4	1566,31	189,3	1583,69	187,2	1601,46
195,5	1533,47	193,4	1550,12	191,3	1567,13	189,2	1584,53	187,1	1602,31
195,4	1534,25	193,3	1550,92	191,2	1567,95	189,1	1585,36	187,0	1603,17
195,3	1535,04	193,2	1551,72	191,1	1568,77	189,0	1586,20	186,9	1604,03
195,2	1535,82	193,1	1552,52	191,0	1569,59	188,9	1587,04	186,8	1604,88
195,1	1536,61	193,0	1553,33	190,9	1570,42	188,8	1587,88	186,7	1605,74

2.5. Топології мереж DWDM

1) Топологія "точка-точка"

Найбільш популярним застосуванням DWDM на перших етапах життєвого циклу цієї технології є створення наддалеких високошвидкісних магістралей (Ultralong Haul), в яких застосовується топологія "точка-точка":

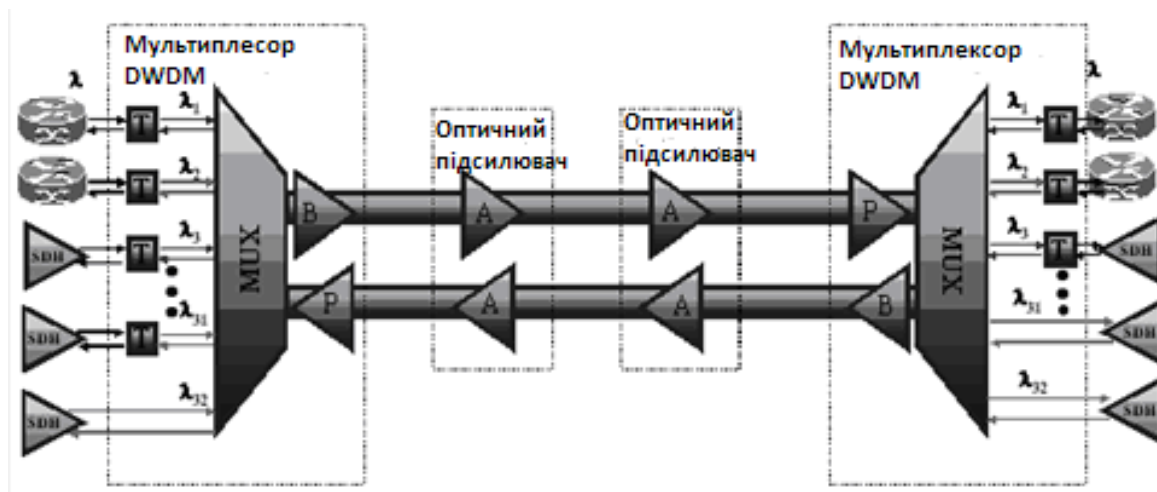


Рис. 2.5. Топологія "точка-точка"

Для організації такої магістралі достатньо в її кінцевих точках встановити термінальні мультиплексори DWDM, а в проміжних точках - оптичні підсилювачі, якщо цього вимагає відстань між кінцевими точками. Термінальний мультиплексор включає власне блок мультиплексування-демультиплексування, вихідний (Booster, B) і попередній (Pre-amplifier, P) підсилювачі, а також набір транспондерів (Transponder, T), що перетворюють вхідні сигнали від джерел, довжина хвилі яких не відповідає частотному плану мультиплексора, в хвилі необхідної довжини. У тих випадках, коли деякий пристрій, що підключається до мережі DWDM здатний виробляти сигнал на хвилі однієї з частот, підтримуваних мультиплексором DWDM (плану ITU-T G.692 або приватного плану виробника) транспондери не використовуються. У цьому випадку кажуть, що пристрій, який підключається до мережі DWDM має "пофарбований" інтерфейс. У рекомендації ITU-T G.692

визначені три типи підсилювальних ділянок, тобто ділянок між двома сусідніми мультиплексорами DWDM:

- L (Long) - ділянка складається максимум з 8 прольотів ВОЛЗ і 7 оптичних підсилювачів, максимальна відстань між підсилювачами до 80 км при загальній максимальній протяжності ділянки 640 км;
- V (Very long) - ділянка складається максимум з 5 прольотів ВОЛЗ і 4 оптичних підсилювачів, максимальна відстань між підсилювачами до 120 км при загальній максимальній протяжності ділянки 600 км;
- U (Ultra long) - ділянка без проміжних підсилювачів довжиною до 160 км.

Обмеження на кількість пасивних ділянок та їх довжину пов'язані з деякою деградацією оптичного сигналу при його оптичному посиленні - хоча оптичний підсилювач EDFA відновлює потужність сигналу, але не повністю компенсує ефект хроматичної дисперсії (тобто поширення хвиль різної довжини з різною швидкістю, через що сигнал на приймальному кінці волокна "розмазується"), а також такі нелінійні ефекти як раманівське розсіювання, чотирьох хвильове зміщення і нестабільність модуляції. Тому для побудови більш протяжних магістралей необхідно між підсилювальними ділянками встановлювати мультиплексори DWDM, що виконують регенерацію сигналу за рахунок його перетворення в електричну форму і назад, тобто працюють за принципом ОЕО. Ситуацію частково покращують спеціальні компенсатори дисперсії, але повністю відновити якість сигналу вони не можуть. Для зменшення нелінійних ефектів в системах DWDM застосовується також обмеження потужності сигналу, що передається по довгій лінії. У наведеній вище схемі дуплексний обмін між абонентами мережі відбувається за рахунок односпрямованої передачі всього набору хвиль по двом волокнам. Існує й інший варіант роботи мережі DWDM, коли для зв'язку вузлів мережі використовується одне волокно. Двобічний режим досягається за рахунок двобічної передачі оптичних сигналів по волокну - половина хвиль частотного плану передають інформацію в одному напрямку, а половина - у зворотному.

2) Топологія з проміжними підключеннями

Природним розвитком попередньої топології є побудова мережі, в якій проміжні вузли виконують функції мультиплексорів вводу-виводу.

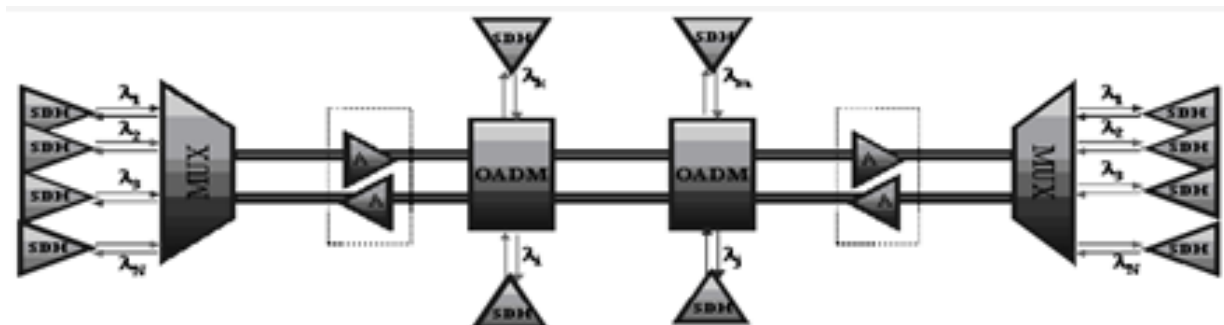


Рис 2.6. Топологія з проміжними підключеннями

Оптичні мультиплексори вводу-виводу (OADM) можуть вивести із загального оптичного сигналу хвилю певної довжини і ввести туди сигнал цієї ж довжини хвилі, так що спектр транзитного сигналу не зміниться, а з'єднання буде виконано з одним з абонентів, підключених до проміжного мультиплексору. OADM може виконувати операції введення-виведення хвиль оптичними засобами або за допомогою проміжного перетворення в електричну форму. Зазвичай повністю оптичні (пасивні) мультиплексори вводу-виводу можуть відводити невелике число хвиль, так як кожна операція виведення вимагає послідовного проходження оптичного сигналу через оптичний фільтр, який вносить додаткове загасання. Якщо ж мультиплексор використовує електричну регенерацію сигналу, то кількість виведених хвиль може бути будь-яким в межах наявного набору хвиль, так як транзитний оптичний сигнал попередньо повністю демультимплексується.

3) Кільцева топологія

Кільцева топологія забезпечує працездатність мережі WDM за рахунок наявності резервних шляхів. Методи захисту трафіку, що застосовуються в WDM, аналогічні методам SDH (хоча в WDM вони поки не стандартизовані). Якщо будь-яке з'єднання захищається, то між його кінцевими точками встановлюються два шляхи - основний

і резервний. Мультиплексор кінцевої точки порівнює два сигнали і вибирає сигнал кращої якості (або сигнал за замовчуванням).

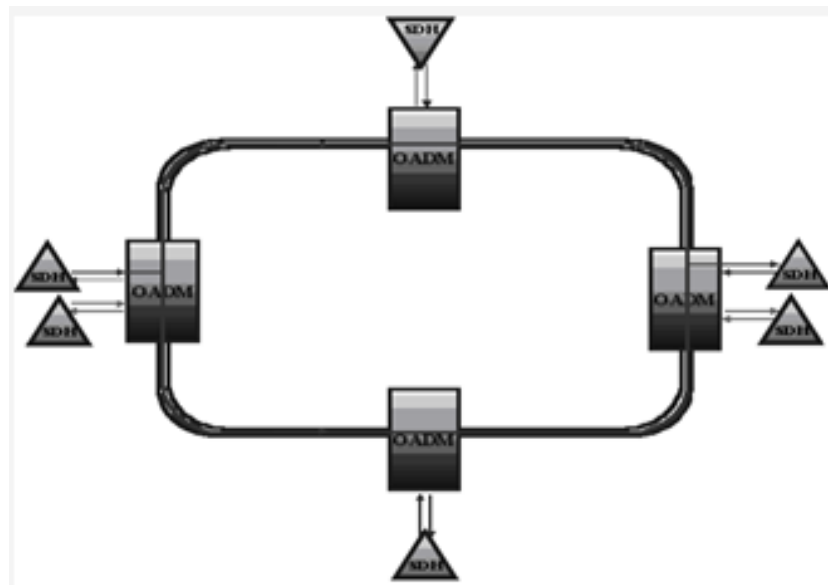


Рис 2.7. Кільцева топологія

4) Комірчаста технологія

У міру розвитку мереж WDM в них все частіше буде застосовуватися комірчаста топологія, яка забезпечує істотно більшу гнучкість, продуктивність і відмовостійкість, ніж інші топології. Однак для реалізації комірчастої топології необхідна наявність оптичних крос-конекторів (ОКС), що підтримують довільну комутацію між оптичними сигналами, переданими хвилями різної довжини (а не тільки додавання і виведенням хвиль із загального транзитного сигналу, як це роблять мультиплексори вводу-виводу). Устаткування такого класу порівняно нещодавно з'явилося на ринку, причому поки не всі провідні виробники мають його в своїх лінійках товарів, що ускладнює побудову комірчастих мереж WDM.

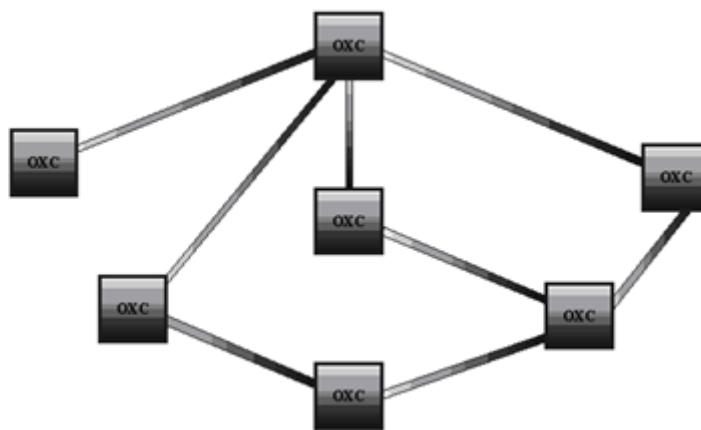


Рис 2.8. Комірчаста топологія

Зазвичай DWDM застосовується в двох режимах:

- Відкритий DWDM
- Інтегрований DWDM

Відкрита DWDM система характеризується відсутністю спеціальних вимог до оптичних інтерфейсів мультиплексного терміналу, єдина вимога, щоб цей інтерфейс відповідав стандартам для оптичних інтерфейсів, визначених ITU - T. DWDM система використовує технологію перетворення оптичного сигналу мультиплексного терміналу в певні довжини хвиль. Оптичні сигнали з різного термінального обладнання перетворюються в сигнали різних довжин хвиль, які відповідають рекомендаціям ITU - T, які потім мультиплексируються. Інтегрована DWDM система не використовує технологію перетворення довжини хвилі, замість цього вона вимагає, щоб довжина хвилі оптичного сигналу відповідала специфікаціям для DWDM систем і щоб різне термінальне обладнання передавало в спектральних каналах відповідних рекомендацій ITU- T, так щоб довжини хвиль займали різні вхідні канали, таким чином вони можуть бути об'єднані. Залежно від проектних вимог можуть бути застосовані різні режими додатків. На практиці можливо змішання режимів відкритого та інтегрованого DWDM.

ВИСНОВОК ДО РОЗДІЛУ 2

Технологія DWDM дозволяє отримати найбільш масштабний і рентабельний спосіб розширення смуги пропускання волоконно-оптичних каналів в сотні разів. Пропускна здатність оптичних ліній на основі систем DWDM можна нарощувати, поступово додаючи у міру розвитку мережі у вже існуюче обладнання нові оптичні канали. Враховуючи, що інтернет-провайдер використовує обладнання Ethernet, яке може працювати з трансиверами DWDM, це дозволяє організовувати декілька дуплексних каналів Ethernet в каналах DWDM, не потребуючи проміжних переходів до інших транспортних технологій та не потребуючи застосування дорогих транспондерів для перетворення сигналу на потрібну довжину хвилі, бо трансивери одразу налаштовані на потрібні довжини хвиль з дозволеного діапазону.

РОЗДІЛ 3

РОЗРАХУНОК МАГІСТРАЛЬНОГО КАНАЛУ ЗВ'ЯЗКУ DWDM НА ДІЛЯНЦІ КИЇВ – ЖАШКІВ

3.1 Опис ділянки магістрального каналу Київ - Жашків

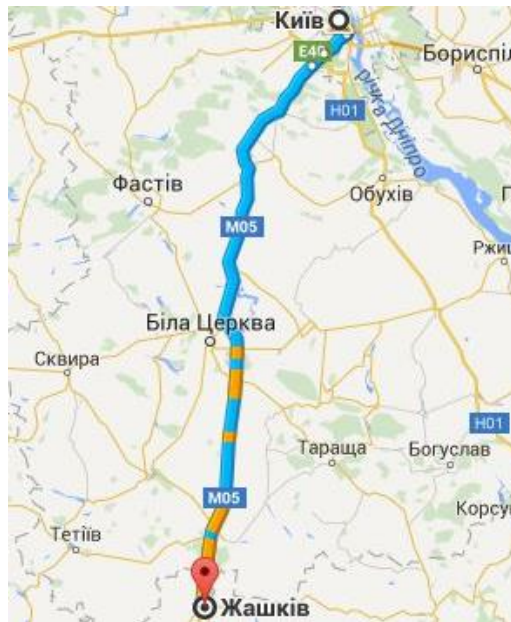


Рис 3.1. Зображення шляху проходження каналу Київ – Жашків

Для проведення розрахунку магістрального каналу, мною було обрано ділянку Київ – Жашків.

Дана ділянка охоплює територію, де ще триває розвиток телекомунікаційних технологій і в подальшому може стати потреба у передачі великих об'ємів інформації. Також ця ділянка може поєднуватися з іншими магістральними каналами, що охоплюють межі країни.

Протяжність її складає 150 км через автомобільні шосе E40 та M05, вздовж яких можливо прокласти під землею волоконно-оптичний кабель.

Прокладка кабелю в ґрунт біля автомобільних доріг було обрано тому, що це доволі надійний метод та при аваріях аварійна бригада зможе дуже швидко досягти місця пошкодження кабелю та провести відновлюючі роботи.

3.2. Вибір волоконно-оптичного кабелю

Для прокладки під землею я обрав кабель FinMark LTxxx-SM-02, який призначений для прокладки в ґрунтах 1-3 категорій (без мерзлотних деформацій), в кабельній каналізації та трубопроводах, на мостах і естакадах, у тунелях, колекторах при вводі в будинок, в тому числі в місцях заражених гризунами, а також по зовнішніх стінах будівель і споруд.

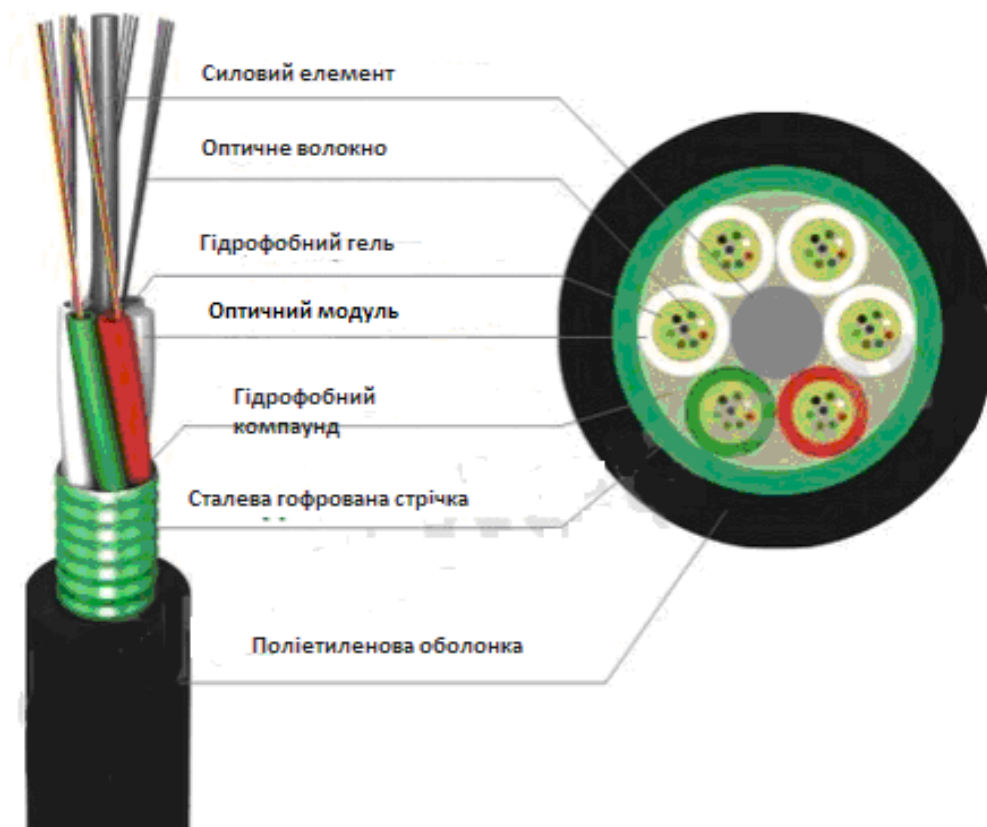


Рис. 3.2 Структура обраного оптоволоконного кабелю FinMark LTxxx-SM-02

Характеристики кабелю FinMark LTxxx-SM-02

Параметри	Параметри волокна
Тип волокна	NZDSF
Відповідність стандарту	G.655
Робочі вікна прозорості, нм	1528–1625
Загасання, дБ/км	<0.3
Дисперсія, пс/(нм*км)	6,0
Будівнича довжина, км	6
Температурний діапазон	– 40...+70

Це оптичний кабель з 5 - 26 оптичними модулями, навитими навколо центрального силового елемента, в яких може розташовуватися до 312 оптичних волокон. У кабелі з числом волокон 4 - 144 оптичні модулі розташовуються в один шар, а для більшого волокон - у два шари. Порожнечі між оптичними модулями заповнені гідрофобним водоблокуючим компаундом. У кабелі з малою кількістю волокон, замість відсутніх оптичних модулів застосовуються т.зв. «заповнюючі» модулі. Шар броні виконаний із сталеві гофрованої стрічки і окрім механічного захисту служить гідробар'єром, який перешкоджає дифузії вологи через полімерні оболонки у бік оптичного волокна. Зовнішня оболонка виготовлена з поліетилену високої щільності.

У обраний оптоволоконний кабель закладається оптичне волокно Fujikura FutureGuide-LWP (відповідає ІТУ-Т G.655). Стандарт G.655 відноситься до волокна зі зміщеною ненульовою дисперсією - NZDSF (Non-Zero Dispersion Shifted Fiber). Це волокно призначене для застосування в магістральних волоконно-оптичних лініях і глобальних мережах зв'язку, що використовують DWDM-технології в діапазоні довжин хвиль 1550 нм.

Волокна з ненульовою зміщеною дисперсією найкраще підходять для роботи систем щільного хвильового мультиплексування (DWDM) в діапазоні C (1530-1565 нм) з оптичними підсилювачами. Можливе збільшення числа несучих DWDM за рахунок діапазонів S і L. Також можлива робота систем розрідженого хвильового мультиплексування (CWDM) у всьому діапазоні 1460-1625 нм. Практично всі нові кабельні лінії мають у своєму складі хоча б кілька волокон типу G.655 для майбутнього розвитку. Сучасні одномодові ОВ мають зазвичай в діапазоні 3 позитивний або негативний коефіцієнт хроматичної дисперсії близько 1 ... 10 пс / (нм · км), а також коефіцієнт загасання близько 0,2 ... 0,25 дБ / км (на 1550 нм).

3.3. Вибір обладнання

Для введення навантаження в систему зі спектральним ущільненням економічно вигідно і раціонально використовувати комутатори.

Потрібен комутатор, оснащений вбудованими оптичними портами, що дозволяє використовувати його для DWDM. Таким є комутатор MR-2408 10 Gigabit Ethernet.



Рис. 3.3 Комутатор OptiSwitch MR2408

OptiSwitch MR2408 - це високопродуктивний комутатор Рівня 2-4 з широким набором функцій управління трафіком і забезпечення якості послуг. MR2408 має 8 портів 10 Gigabit Ethernet, виконаних у вигляді роз'ємів для установки змінних модулів XFP, що дає можливість вибору з будь-яких існуючих оптичних інтерфейсів, включаючи моделі для багатомодового і одномодового кабелю і різних діяльностей роботи, а також трансивери DWDM.

Незважаючи на компактні розміри (висота 1U), пристрій MR2408 являє собою потужний агрегуючий комутатор для трафіку 10 Gigabit Ethernet, що має системну шину з продуктивністю 160 Гбіт / с. Він підтримує повний набір функцій, необхідних при побудові сучасних високошвидкісних мереж, включаючи розширені можливості по захисту інформації та управління трафіком. Комутатор MR2408 може зберігати до 16К MAC-адрес і забезпечує роботу з пакетами розміром до 9 Кбайт. На задній панелі комутатора розташований роз'єм для підключення зовнішнього резервного джерела живлення, що дає можливість додаткового підвищення надійності системи.

У якості трансиверів оберемо модулі Finisar's XFP Optical Transceiver FTLX1812M3BCL 10 Гб / с, які можуть використовуватись на каналах зі стандартним волокном на ділянках довжиною до 80 км без підсилювачів.

У якості мультиплексорів SNR-DWDM2-MDM-8/M. Це пасивний пристрій спектрального мультиплексування-демультиплексування для 8 оптичних DWDM каналів, працює з двома волокнам. Спеціально розроблений для спільного використання з EDFA-підсилювачами та DWDM-фільтрами Blue / Red для роботи по одному волокну.

Так як EDFA підсилювачі працюють однонаправлено, то використаємо DWDM-фільтр діапазонів, що дозволяє об'єднувати / розділяти C-діапазон на "Blue" та "Red" піддіапазони для роботи EDFA підсилювачів по 1 волокну. "Blue" (1528 ... 1543nm) і "Red" (1547 ... 1564nm)

3.4 Розрахунок лінії за загасанням

Основні параметри каналу:

$L_{\text{заг}}$ - загальна протяжність каналу, $L_{\text{заг}} = 150$ км

$\alpha_{\text{м}}$ – загасання на мультиплексорі, $\alpha_{\text{м}} = 3.5$ дБ

$\alpha_{\text{ф}}$ – загасання на оптичному фільтрі, $\alpha_{\text{ф}} = 1.5$ дБ

Також потрібно визначити кількість нероз'ємних з'єднань для обрахування внесених ними загасань, рахується за формулою (3.1):

$$n_2 = L_{\text{зар}} / l_{\text{буд}}, (3.1)$$

$l_{\text{буд}}$ – будівнича довжина оптичного волокна, $l_{\text{буд}}=6$ км.

$$n_2 = 150 / 6 = 25$$

α_2 – загасання нероз'ємного з'єднання; $\alpha_2=0,05$ дБ

Розділимо канал на три ділянки та розрахуємо загасання та рівні сигналу:

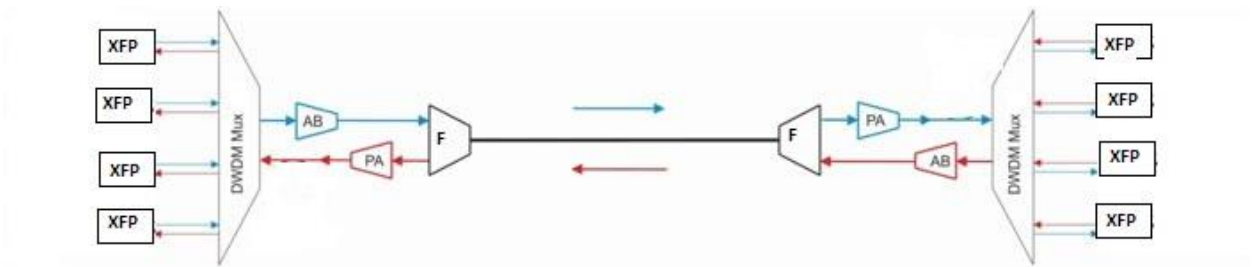


Рис 3.4 Структурна схема каналу, де АВ – підсилювач (Amplifier Booster), F – R / В фільтр (Filter), PA – передпідсилювач (Pre-Amplifier)

- 1) Загасання від передаючого трансивера до підсилювача (бустера) за формулою (3.2):

$$A_1 = n_1 \cdot \alpha_1 + \alpha_m, (3.2)$$

n_1 – число роз'ємних з'єднань на ділянці, $n_1=4$;

α_1 – загасання роз'ємного з'єднання, $\alpha_1=0,3$ дБ;

α_m – загасання на мультиплексорі, $\alpha_m=3.5$ дБ;

$$A_1 = 4 \cdot 0.3 + 3.5 = 4.7 \text{ дБ}$$

Обрахуємо потужність вхідного сигналу підсилювача P_{in1} за формулою (3.3):

$$P_{in1} = P_{tr} - A_1, (3.3)$$

P_{tr} – потужність передаючого сигналу трансивера, $P_{tr} = 0$ дБм (0...4 дБм);

$P_{in1} = 0 - 4.7 = -4.7$ дБм, що є достатнім для детектування та підсилення сигналу

підсилювачем A-GEAR BA4117. За параметрами EDFA підсилювача A-GEAR BA4117 з автоматичним змінювачем коефіцієнту підсилення AGC (Automatic Gain Control), потужність вихідного сигналу (P_{out1})= 17 дБм.

- 2) Загасання від підсилювача до передпідсилювача за формулою (3.4):

$$A_2 = L_{\text{зар}} \cdot \alpha_p + n_2 \cdot \alpha_2 + n_1 \cdot \alpha_1 + \alpha_\phi \cdot 2, (3.4)$$

α_p – робочі загасання сигналу на довжині хвилі 1550 нм, $\alpha_p=0,22$ дБ/км;

n_1 – число роз'ємних з'єднань на ділянці, $n_1=6$;

n_2 – кількість нероз'ємних з'єднань на ділянці, $n_2 = 25$;

α_2 – загасання нероз'ємного з'єднання; $\alpha_2=0,05$ дБ;

α_ϕ – загасання на оптичному фільтрі, $\alpha_\phi = 1.5$ дБ;

$$A_2 = 150 \cdot 0.22 + 25 \cdot 0.05 + 6 \cdot 0.3 + 1.5 \cdot 2 = 33 + 1.25 + 1.8 + 3 = 39.05 \text{ дБ}$$

Розрахування потужності сигналу на вході передпідсилювача за формулою (3.5):

$$P_{in2} = P_{out1} - A_2, (3.5)$$

P_{out1} – потужність сигналу на виході с підсилювача, $P_{out1} = 17$ дБм;

$$P_{in2} = 17 - 39.05 = -22.05 \text{ дБм}$$

У якості передпідсилювача оберемо A-GEAR PA4325/F10 з коефіцієнтом підсилення рівним 25 дБ та низьким коефіцієнтом шуму. Чутливість приймача дозволяє детектувати сигнал потужністю, як мінімум, від -30 дБм, що в порівнянні з отриманим вище результатом дає ще від 7 дБ на енергетичний системний запас в ВОСП, використовуваний для компенсації втрати потужності сигналу, пов'язаної з проведенням ремонтних та додаткових робіт на кабелі, погіршенням параметрів оптичного волокна та апаратури прийому-передачі, а також інших відхилень параметрів ділянки в процесі експлуатації. На виході матимемо потужність сигналу збільшену на КП (25 дБ), що дорівнює за : $P_{out2} = P_{in2} + \text{КП}, (3.6);$

КП – коефіцієнт підсилення передпідсилювача, КП = 25 дБ;

$$P_{out2} = -22 + 25 = 3 \text{ дБм.}$$

3) Загасання та рівні сигналу від передпідсилювача до приймачого трансивера:

Розрахуємо загасання за формулою (3.7):

$$A_3 = n_1 \cdot \alpha_1 + \alpha_m, (3.7)$$

n_1 – число роз'ємних з'єднань на ділянці, $n_1=4$

α_m – загасання на мультиплексорі, $\alpha_m = 3.5$ дБ;

$$A_3 = 4 \cdot 0.3 + 3.5 = 4.7 \text{ дБ}$$

Розрахування потужності сигналу на вході приймаючого трансивера за формулою (3.8):

$$P_{in3} = P_{out2} - A_2 \quad (3.8)$$

P_{out2} – потужність на виході передпісилювача, $P_{out2} = 3$ дБм;

$$P_{in3} = 3 - 4.7 = -1.7 \text{ дБм}$$

Це занадто велике значення потужності для трансивера, тому потрібно його зменшити. Зробити це можливо за допомогою аттенюатора, пристрій, що послаблює сигнал. Аттенюатор має зміне значення загасання, від 1 до 30 дБ. Максимальна потужність сигналу для трансивера рівна -7 дБм, це означає, що потрібно встановити аттенюатор на загасання рівне від 6 дБ, щоб отримати на вході трансивера сигнал допустимої потужності (3.9).

$$\text{Отримаємо } P_{in3} = P_{out2} - A_2 - \alpha_a, \quad (3.9)$$

α_a – загасання внесени аттенюатором, $\alpha_a = 6$ дБ;

$P_{in3} = 3 - 4.7 - 6 = -7.7$ дБм, це значення задовільняє вимоги працездатності каналу.

3.5. Розрахунок лінії за дисперсією

Так як було обрано оптичне волокно зі зміщеною ненульовою дисперсією - NZDSF (Non-Zero Dispersion Shifted Fiber). Це волокно призначене для застосування в магістральних волоконно-оптичних лініях, то ж воно забезпечує дуже низькі значення дисперсії 6 пс/нм·км.

Розрахуємо сумарну дисперсію каналу за формулою (3.10):

$$D_k = L_{заг} \cdot D_{ов}, \quad (3.10)$$

$D_{ов}$ – дисперсія волокна, $D_{ов} = 6$ пс/нм·км;

$$D_{ов} = 150 \cdot 6 = 800 \text{ пс/нм}$$

Стійкість приймача по дисперсії складає до 1600 пс/нм, що означає, що компенсувати дисперсію в каналі не має потреби, завдяки використанню ОВ зі

зміщеною ненульовою дисперсією вдалося позбутися потреби використовувати компенсатори дисперсії, їх використання додало б додаткового загасання в каналі.

3.6. Розрахунок коефіцієнту сигнал/шум (OSNR)

Згідно рекомендації G.39 ITU-T, шумом першого підсилювача потужності в даному випадку (коли підсилення сигналу від нього менше ніж загальне загасання після нього) можливо знехтувати, розрахуємо коефіцієнт сигнал / шум (OSNR) за формулою з рекомендації G.39 Міжнародного Союзу Електрозв'язку ITU-T (3.11):

$$\text{OSNR} = P - A_2 - \text{NF} - 10\log(h \nu \nu_p), \quad (3.11);$$

P_{out1} – потужність на виході підсилювача, $P_{\text{out1}} = 17$ дБм;

A_2 – загасання на ділянці між підсилювачами, $A_2 = 39$ дБ;

NF – внесений коефіцієнт шумів передпідсилювача, $\text{NF} = 4.1$ дБ;

$10\log(h \nu \nu_p) - h$ (стала Планка), ν (оптична частота), ν_p (еталонна ширина смуги пропускання), для зручності береться розраховане стале значення рівне -58 ;

$\text{OSNR} = 17 - 39 - 4.1 - (-58) = 31.9$ дБ, що повністю задовільняє вимозі по мінімальному коефіцієнту сигнал / шум рівному 25 дБ для швидкостей 10 Гб с.

Також слід зауважити, що використані трансивери оснащені технологією Forward Error Correction - система зі зворотною вирішувальним зв'язком для попередньої корекції помилок, що додає в середньому ще 6 дБ до можливого погіршення OSNR (тобто достатнім буде $\text{OSNR} = 19$ дБ).

3.7. Моніторинг за станом лінії зв'язку

Трансивери мають вбудовану функцію DDM, що дозволяє слідкувати за станом параметрів трансивера.

DDM (Digital Diagnostics Monitoring) - функція цифрового контролю параметрів продуктивності SFP трансивера, а також SFP + і XFP. Дозволяє відстежувати в реальному часі такі параметри як: напруга, температуру модуля, струм зміщення і

потужність лазера (TX), рівень сигналу (RX). Зміни даних параметрів дозволяють визначити стан DWDM системи і траси в цілому. Для отримання даних цей функціонал повинен підтримуватися як трансивером, так і комутатором. Дані можуть бути направлені як в записи обладнання, в яке підключено трансивер, так і можливо налаштувати систему моніторингу, яка при зміні важливих параметрів буде інформувати про це технічний персонал, що дозволить швидко реагувати на виникаючі проблеми. Також можливо за допомогою додаткового програмного забезпечення відмальовувати графіки на основі отриманих даних та з них фіксувати стан каналу на протязі усього часу, також можливо помічати погіршення рівнів сигналу, внаслідок аварії / її усунення та т.п.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3

За проведеними розрахунками вдалося отримати DWDM – систему на каналі зв'язку протяжністю 150 км, використовуючи при цьому в якості передавачів – трансивери, що є дуже зручним та дешевим рішенням для Інтернет провайдеру, також побудований таким чином канал легко масштабується додавання / зняттям трансиверів.

Така система дозволяє отримати швидкості до 80 Гб / с по одному оптичному волокну, а в подальшому, враховуючи стрімкий розвиток телекомунікаційних технологій, можливо збільшення цієї швидкості в рази за рахунок встановлення кращого, більш продуктивного обладнання.

За допомогою функції цифрового контролю параметрів трансивера можливим є постійний моніторинг стану каналів, рівнів сигналу, що дозволить заздалегідь визначити можливу проблему в каналі та усунути її.

ВИСНОВКИ

Сучасний стрімкий розвиток телекомунікацій висуває все більш суворіші вимоги по надійності, швидкості передачі та перспективності каналів зв'язку Інтернет провайдерів.

Найкращим середовищем передачі інформації є волоконно-оптичні лінії зв'язку, що дозволяють будувати надійні та перспективні магістральні канали. Рішення на основі волоконно-оптичних систем є дорогими, враховуючи, що вони потребують дуже прецизійного складного обладнання, але вони себе окупають, особливо враховуючи, що термін експлуатації волоконно-оптичної лінії сягає 25 років.

Інтернет провайдери на даному етапі розвитку нарощують все більшу кількість високошвидкісних магістральних каналів, щоб задовольнити зростаючі потреби в передачі даних. Так як провайдери використовують в якості мережної технології Ethernet, раніше для транспортування цих даних на дальні відстані вставала потреба взаємодіяти з іншими транспортними технологіями, що було дорого, незручно, потребувало додаткового обладнання для організації взаємодії різних технологій. Зараз з розвитком та подешевшенням оптичних рішень, технологія Ethernet вже сама здатна забезпечувати передачу даних на дуже великі відстані, від масштабів міста до міжрегіональних каналів на базі волоконно-оптичних ліній.

На сучасному етапі набирає стрімкого розвитку технологія ущільнення по довжині хвилі, яка дозволяє по одному оптичному волокну передавати велику кількість незалежних окремих каналів зв'язку, організувати передачу інформації на швидкостях до 25 Тб / с по одному ОВ.

В даній дипломній роботі я розрахував магістральний DWDM канал, що дозволяє організувати 8 дуплексних каналів зв'язку, використовуючи в якості передавальних пристроїв – трансивери, що, в свою чергу, дозволяє використовувати в якості каналостворюючого обладнання – обладнання Ethernet. Такий підхід дає можливість зручного розвитку та розширенню високошвидкісних магістральних каналів Інтернет провайдерів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Листвин В.Н. «DWDM системи» 2011.
2. Девід Бейлі, Едвін Райт «Волоконна оптика. Теорія та практика» 2005.
3. Фріман Р. «Волоконно-оптичні системи зв'язку», Техносфера. – М., 2003.
4. Гриценко В.И., Урсатьєв А.А. «Розподілені інформаційні системи. Стан. Проблеми розвитку.» // УСиМ. – 2003
5. Бобров С.И. Принципи проектування корпоративних мереж», 2004.
6. Гришунин М. «Технології ущільнення ВОЛЗ для міських мереж // Технології та засоби зв'язку». – 2010
7. Андре Жирар . «Посібник з технології та тестуванню систем WDM.» 2001
8. Рекомендація G.709 ITU-T – 2003
9. <http://izmer-ls.ru>
10. <http://nag.ru>
11. <http://habrahabr.ru>
12. <http://wiki.vols-vl.ru>