

**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: «Технології оптичних підсилювачів»

Виконавець: _____ **Ходот П. С.**
(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

Ходота Павла Сергійовича

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

1. Тема дипломної роботи (проекту): «Технології оптичних підсилювачів»
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: оптичні підсилювачі, структуровані кабельні системи
4. Зміст пояснювальної записки: основні стандарти і рекомендації СКС, оптичні підсилювачі, розрахунок параметрів ВОЛЗ з використанням оптичних підсилювачів
5. Перелік обов'язкового графічного (ілюстративного) матеріалу: слайди презентації в програмному пакеті Microsoft PowerPoint

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	Написання першого розділу	23.05.2021- 27.05.2021	Виконано
4	Написання другого розділу	28.05.2021- 03.06.2021	Виконано
5	Написання 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 _____ Ходот П. С.
(підпис випускника) (П.І.Б.)

РЕФЕРАТ

Дипломна робота «Технології оптичних підсилювачів» містить 61 сторінку, 19 рисунків, 4 таблиці, 18 використаних джерел.

ОПТИЧНЕ ВОЛОКНО, ВОЛОКОННО-ОПТИЧНА ЛІНІЯ ЗВ'ЯЗКУ, ОПТИЧНИЙ ПІДСИЛЮВАЧ, СТРУКТУРОВАНА КАБЕЛЬНА СИСТЕМА.

Об'єкт дослідження – підсилення оптичного сигналу.

Предмет дослідження – оптичний підсилювач в структурованій кабельній системі.

Мета дипломної роботи – інтеграція оптичних мереж в структуровану кабельну систему будівлі з використанням оптичних підсилювачів.

Практична значимість полягає в тому, що розроблена СКС може бути впроваджена і використовуватися в інфраструктурній будівлі як повноцінна система, яка буде задовольняти всі потреби користувачів і мати всі переваги в експлуатації, побудові та впровадженні в порівнянні зі звичайними кабельними системами.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	6
ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1. ОСНОВНІ СТАНДАРТИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ СКС	9
1.1. Визначення основних елементів кабельних систем	9
1.2. Стандарт телекомунікаційного каблірування комерційних будівель ANSI/TIA/EIA-568-A	11
1.3. Стандарт ISO/IEC 11801. Універсальні кабельні системи будівель	21
1.4. ANSI/TIA-568-C.0: Рекомендації по прокладці оптоволоконних кабелів	28
РОЗДІЛ 2. ОПТИЧНІ ПІДСИЛЮВАЧІ	33
2.1. Переваги та недоліки оптичних підсилювачів	33
2.2. Сучасні оптичні підсилювачі RAMAN	34
2.3. Сучасні напівпровідникові оптичні підсилювачі (SOA)	37
РОЗДІЛ 3. РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ВОЛЗ З ВИКОРИСТАННЯМ ОПТИЧНИХ ПІДСИЛЮВАЧІВ	44
3.1. Розрахунок довжини ділянки оптичного підсилення	44
3.2. Розрахунок довжини регенераційної ділянки	45
3.3 Розрахунок дисперсії оптичного волокна	51
3.4. Розстановка підсилювальних пунктів	55
ВИСНОВКИ	58
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	60

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ASE Amplified spontaneous emission Спектр спонтанних фотонів

CSMA / CD Carrier Sense Multiple Access Множинний доступ з Collision Detection контролем несучої і виявленням колізій

DPT Dynamic Packet Transport Технологія передачі IP-трафіку

DCM Dispersion Compensation Module Модулі компенсації дисперсії

DWDM Dense Wavelength Division Щільне хвильове Multiplexing мультиплексування

EDFA Erbium Doped Fiber Amplifier Підсилювач EDFA (оптичний підсилювач на волокні, легваному ербієм)

ITU International Telecommunication Міжнародний союз Union телекомунікацій (структурний підрозділ ООН)

IP Internet protocol маршрутизації мережевий протокол

LLC Logical Link Control Підрівень управління логічним з'єднанням

OSI Open Systems Interconnection Базова еталонна модель Basic Reference Model взаємодії відкритих систем

MAC Medium Access Control Підрівень управління доступом до середовища

PDH Plesiochronous Digital Hierarchy плезіохронний цифрова ієрархія (ПЦИ)

POS Packet over SDH Технологія з інкапсуляцією пакетів IP

SDH Synchronous Digital Hierarchy Синхронна цифрова ієрархія (СЦІ)

STM Synchronous Transfer Mode Синхронний транспортний модуль

TCP / IP Transmission Control Набір мережевих протоколів Protocol / Internet Protocol) різних рівнів

WDM Wavelength Division Multiplexing Хвильовий мультиплексування

ВОСП Fiber-optic link of Handing Волоконно-оптична лінія передач

ВОК Волоконно-оптичний кабель

ВОЛЗ Волоконно-оптичні лінії зв'язку

ВОСП Волоконно-оптичні системи передачі

ВСТУП

Актуальність теми. За останні чотири роки з'явилися оптичні мережі, що по суті, засновані на мультиплексуванні з поділом по довжині хвилі. Сьогодні щорічно продаються мережеві системи з поділом по довжині хвилі на сотні мільйонів доларів, створені нові великі підприємства, які не виробляють нічого, крім оптичних мереж, усуваються вузькі місця в смузі пропускання і множаться зоопарки протоколів. Більш того, існує багату архітектурну уявлення про те, що робити далі. Сама по собі ідея оптичних мереж нескінченно цікава - вона заснована на середовищі з пропускнуою спроможністю в тисячі гігабіт за секунду, але при цьому дуже маленькому передавачі щоб бути майже невидимим, розміром не більше крупинки солі, оптичному підсилювачі, що підсилює величезні ділянки смуги пропускання так просто як світло, конструкції систем передачі, які обходять 50 років з працею завойованих, але складних ідей кодування, модуляції і еквалізації, мережева архітектура, яка включає в себе безліч функцій зазвичай робиться більш незграбно на нижніх рівнях класичної багаторівневої архітектури.

Волоконна оптика, ставши головною робочою ланкою процесу інформатизації суспільства, забезпечила собі гарантований розвиток у сьогоденні і майбутньому. Сьогодні волоконна оптика застосовується практично у всіх завданнях, пов'язаних з передачею інформації. Стало допустимим підключення робочих станцій до інформаційної мережі з використанням волоконно-оптичного міні кабеля. Однак, якщо на рівні настільного ПК волоконно-оптичний інтерфейс тільки починає єдиноборство з проводовим, то при побудові магістральних мереж давно стало фактом безумовне панування оптичного волокна. Комерційні аспекти оптичного волокна також говорять в його користь - оптичне волокно виготовляється з кварцу, тобто на основі піску, запаси якого дуже великі. Стрімко входять в наше життя волоконно-оптичні інтерфейси в локальних і регіональних мережах Ethernet, Fast Ethernet, FDDI, Gigabit Ethernet, ATM. [1-18]

Саме тому в дипломній роботі розглядається можливість використання оптичних підсилювачів при інтеграції оптичних мереж в структуровану кабельну систему будівлі.

З урахуванням сказаного, слід зробити висновок про необхідність розробки так званої структурованої кабельної системи (СКС), що створюється за модульним принципом і містить всі необхідні компоненти для будь-якого мережевого рішення. Необхідно додати, що сучасна виробнича будівля стає все більш «інтелектуальною». Крім трьох основних інженерних систем (енергопостачання, водопостачання, вентиляції) воно вимагає створення четвертої необхідної системи - кабельної.

Мета дипломної роботи - інтеграція оптичних мереж в структуровану кабельну систему будівлі з використанням оптичних підсилювачів.

Об'єктом дослідження – підсилення оптичного сигналу.

Предметом дослідження – оптичний підсилювач в структурованій кабельній системі.

Апробація отриманих результатів. Основні положення роботи доповідалися та обговорювалися на таких конференціях:

- Науково-практична конференція «Проблеми експлуатації та захисту інформаційно-комунікаційних систем», м. Київ, 2021 р.

Практична значимість полягає в тому, що розроблена СКС може бути впроваджена і використовуватися в інфраструктурній будівлі як повноцінна система, яка буде задовольняти всі потреби користувачів і мати всі переваги в експлуатації, побудові та впровадженні в порівнянні зі звичайними кабельними системами.

РОЗДІЛ 1

ОСНОВНІ СТАНДАРТИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ СКС

1.1. Визначення основних елементів кабельних систем

Телекомунікаційна інфраструктура. Поєднання телекомунікаційних елементів, виключаючи активне обладнання, які забезпечують базову підтримку розподілу всієї інформації всередині будівлі або кампуса (містечка) (ANSI/TIA/EIA-568-A). [16]

Структурована універсальна кабельна система. Структурована телекомунікаційна кабельна система, здатна підтримувати широкий діапазон додатків. Створюється без попереднього знання тих додатків, які будуть використовуватися згодом. Устаткування, призначене для підтримки конкретного специфічного додатки, не є частиною структурованої універсальної кабельної системи (ISO/IEC 11801) [16].

Кабельна система. Система телекомунікаційних кабелів, провідників, шнурів і пасивного комутаційного обладнання, що підтримує комутацію інформаційного технологічного обладнання (ISO/IEC 11801).

Кабель. Збірка (вузол), що складається з одного або більше провідників, оптичних волокон або їх груп одного типу і категорії, які знаходяться всередині загальної оболонки з екраном як додатковий елемент, сконструйований для використання провідників окремо або групами (ANSI/TIA/EIA-568-A, ISO/IEC 11801) [16].

Комутаційне обладнання. Пристрій, що забезпечує механічне термінування кабелю (ANSI/TIA/EIA-568-A).

Прикладна програма. Система, метод передачі інформації якої підтримується телекомунікаційної кабельної системою (ISO/IEC 11801).

Канал. Шлях передачі сигналу, що з'єднує дві точки, в яких відбувається підключення обладнання, призначеного для роботи з конкретним специфічним додатком. Апаратні шнури і шнури для підключення обладнання на робочому місці включаються в модель каналу (ISO/IEC 11801).

Апаратний кабель (шнур). Кабель або кабельний вузол (або кабель в зборі -

кабель, що є термінуваний конекторами), який використовується для підключення телекомунікаційного обладнання до кабельної системи. Апаратні кабелі, як приналежність активного обладнання, не розглядаються стандартами на кабельні системи (ANSI/TIA/EIA-568-A, ISO/IEC 11801) [16].

Апаратна коробка. Металева або неметалеві коробка, яка встановлюється в стіні, підлозі або стелі і використовується для монтажу телекомунікаційних розеток чи перехідного обладнання (NEMA OS-1-1984, NEMA OS-2-1983).

Магістральний кабель. Розподільчий кабель будівлі, що має зазвичай більше 4 пар провідників. Сюди ж відносяться основний шлях проходження кабелю і засоби підтримки кабелю, починаючи від демаркаційної точки (часто розташовується в цокольному поверсі будівлі) до володінь кінцевих користувачів на верхніх поверхах або далі на тому ж поверсі.

Кінцевий користувач. Термін, що позначає будь-кого, хто є власником або користувачем кабельної системи будівлі. На етапі будівництва в ролі кінцевого користувача зазвичай виступають власник будівлі або його агент. Після заселення кінцевими користувачами зазвичай є орендарі.

Обладнання у власності кінцевого користувача (CPE - Customer Premises Equipment). Телефони, автовідповідачі, спікерфони (інтеркоми) або будь-яке інше термінальне обладнання, розташоване у володінні кінцевого користувача.

Місцевий постачальник сервісу (LEC - Local Exchange Carrier). Телекомунікаційна компанія, що надає послуги з підключення до комутованої мережі загального користування [17].

Модульне гніздо. Телекомунікаційний конектор, визначений у Part 68 Rules, Subpart F. Модульні гнізда можуть мати 6 або 8 позицій контактів, але не всі позиції можуть бути зайняті контактами гнізда.

Модульна вилка. Телекомунікаційний конектор, призначений для проводів або шнурів, і визначений у Part 68 Rules. Модульні вилки можуть мати 6 або 8 позицій контактів, але не всі позиції можуть бути зайняті контактами.

Точка термінування. Термінал, якій служить для підключення проводів. Зовсім не обов'язково, щоб термінал забезпечував електричне з'єднання з ланцюгом.

Проводовий (кабельний) сегмент. Відрізок встановленого проводу, який може включати інші компоненти протягом свого шляху проходження. Станційний кабельний сегмент - від розподільного пристрою до найвіддаленішої телекомунікаційної розетки. Розподільчий кабельний сегмент - від демаркаційної точки до розподільного пристрою.

Шнур. Кабель, в якому використовуються багатожильні провідники з метою підвищення його гнучкості, як, наприклад, в розподільних або лінійних шнурах. В лінійних шнурах також можуть використовуватися стрічкові провідники.

1.2. Стандарт телекомунікаційного кабелювання комерційних будівель ANSI/TIA/EIA-568-A

Стандарт специфікує універсальну телекомунікаційну кабельну систему, здатну підтримувати додатки передачі мови і даних, а також середовище, побудовану на основі різних типів і видів активного обладнання, виготовленого різними виробниками.

Стандарт служить нормативним документом, в якому описані правила проектування телекомунікаційного обладнання і кабельної продукції, призначених для обслуговування комерційних підприємств і організацій.

Для компаній, які проектують і монтують кабельні системи, стандарт дає опис правил планування та монтажу СКС в комерційних будівлях, здатних підтримувати змінюються потреби користувачів в телекомунікаційному сервісі.

Крім перерахованих вище функцій, стандарт служить для встановлення технічних критеріїв і критеріїв оцінки робочих характеристик різних типів кабельної продукції та комутаційного обладнання, а також технічних критеріїв проектування кабельних систем і їх монтажу.

Сфера дії стандарту. Стандарт EIA/TIA-568 має на меті регламентування загальних правил побудови кабельних систем комерційних будівель. Його створення було обумовлено необхідністю забезпечення підтримки широкого діапазону телекомунікаційних додатків, типів пристроїв і устаткування різних виробників.

Стандарт описує гнучку систему каблювання, яка дозволяє планувати і встановлювати комунікаційні кабелі без попереднього знання конкретних потреб кінцевого користувача. Це особливо цінно при будівництві нових будівель та реконструкції існуючих, коли монтаж універсальної кабельної системи до в'їзду в приміщення кінцевих користувачів обходиться набагато дешевше і проходить без створення перешкод працюючим людям [17].

Специфікації, що входять в стандарт, відносяться до телекомунікаційних систем, орієнтованих на "офісне оточення". Вимоги розроблені для СКС з робочим часом життя, принаймні, 10 років.

Основні групи специфікацій. Стандарт '568 розглядає наступні специфікації структурованих кабельних систем:

- визнані середовища, що передають;
- топологія;
- відстані в каблюванні;
- призначені для користувача інтерфейси;
- робочі характеристики кабельних компонентів і комутаційного устаткування;
- правила монтажу;
- робочі характеристики лінії.

У TIA/EIA-568 описані шість підсистем телекомунікаційної кабельної інфраструктури:

- **Horizontal Cabling** Горизонтальна кабельна підсистема (Горизонталь);
- **Backbone Cabling** Магістральна кабельна підсистема (Магістраль);
- **Work Area (WA)** Робоче місце;
- **Telecommunications Closet (TC)** Телекомунікаційна шафа;
- **Equipment Room (ER)** Апаратна (Машинний зал);
- **Entrance Facilities (EF)** Міське введення.

Елементи кабельної системи. Будь-яка універсальна СКС відповідно до положень стандарту '568 включає в себе і будується на підставі наступних елементів:

- **Горизонтальна кабельна система**

- Горизонтальний крос (НС - Horizontal Cross-connect)
- Горизонтальний кабель
- Телекомунікаційна розетка/коннектор (ТО - Telecommunications Outlet/Connector)
- Перехідна точка (ТР - Transition Point, додатковий елемент)
- **Магістральна кабельна система**
- Головний крос (МС - Main Cross-connect)
- Проміжний крос (ІС - Intermediate Cross-connect)
- Зовнішній магістральний кабель
- Внутрішній магістральний кабель
- **Робоче місце** (WA - Work Area)
- **Телекомунікаційна шафа** (ТС - Telecommunications Closet)
- **Апаратна** (Машинний зал) (ЕР - Equipment Room)
- **Міське введення** (ЕФ - Entrance Facility)
- **Адміністрування** *.

Стандарт '568-А містить зауваження і посилання на елементи адміністрування, основні вимоги і специфікації по адмініструванню телекомунікаційних кабельних систем містяться в стандарті ANSI/TIA/EIA-606.

Горизонтальна кабельна система

Горизонтальна кабельна система починається телекомунікаційної розеткою на робочому місці і закінчується горизонтальним кросом в телекомунікаційному шафі. Вона включає в себе: розетку, горизонтальний кабель, точки термінування і патчи пасивні (кросировочні перемички), що представляють собою горизонтальний крос.

Горизонтальна кабельна система повинна мати топологічну конфігурацію "зірка". Кожне робоче місце з'єднане безпосередньо з горизонтальним кросом (НС) в телекомунікаційному шафі (ТС) (рис. 1.1.). Максимальна протяжність будь-якого горизонтального кабельного сегмента не повинна перевищувати 90 м незалежно від типу використовуваного передавального середовища [17].

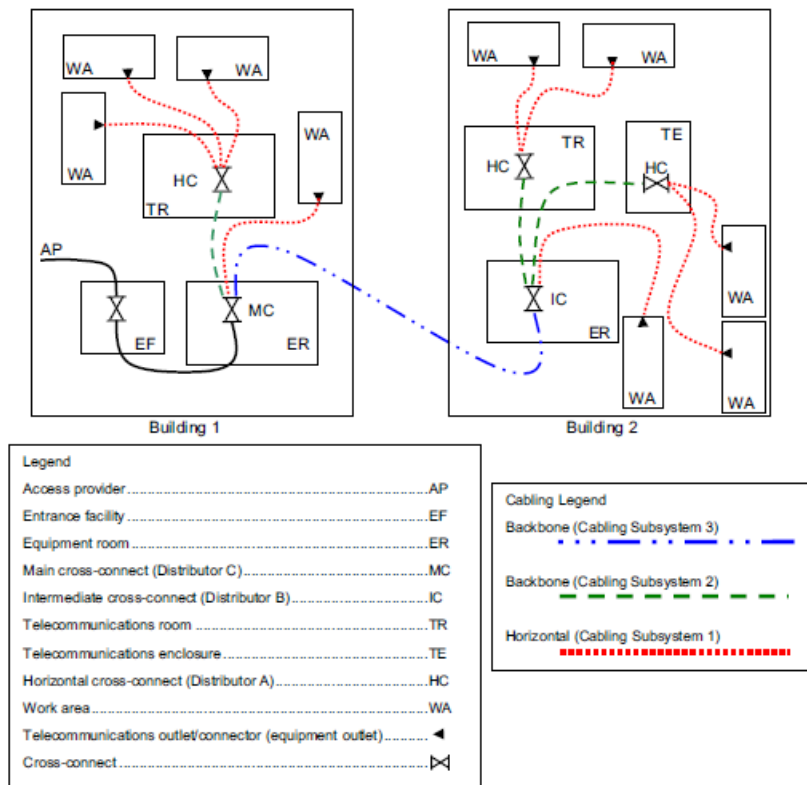


Рис. 1.1. Типова модель телекомунікаційної кабельної системи комерційній будівлі

Горизонтальні кабелі зі своєю кількістю займають перше місце в усьому обсязі кабельних сегментів телекомунікаційної інфраструктури будівлі. Незважаючи на те, що стандарт EIA/TIA 568 звужує коло можливих варіантів кабельної продукції, одним з основних моментів при плануванні СКС є правильний вибір типу передавального середовища для забезпечення підтримки ймовірних змін в майбутньому. Застосований тип кабелю повинен служити більш одного планованого періоду розвитку телекомунікаційної мережі.

При каблюванні відкритих офісних просторів часто застосовується плоский 4-парний підклимний кабель. Місце сполучення такого кабелю і круглого розподільного кабелю, що приходить від горизонтального кросу, носить назву "перехідною точки" (TP - Transition Point). Стандарт допускає застосування однієї перехідною точки між різними формами одного типу кабелю на одному сегменті горизонтального кабелю (рис. 1.2.).

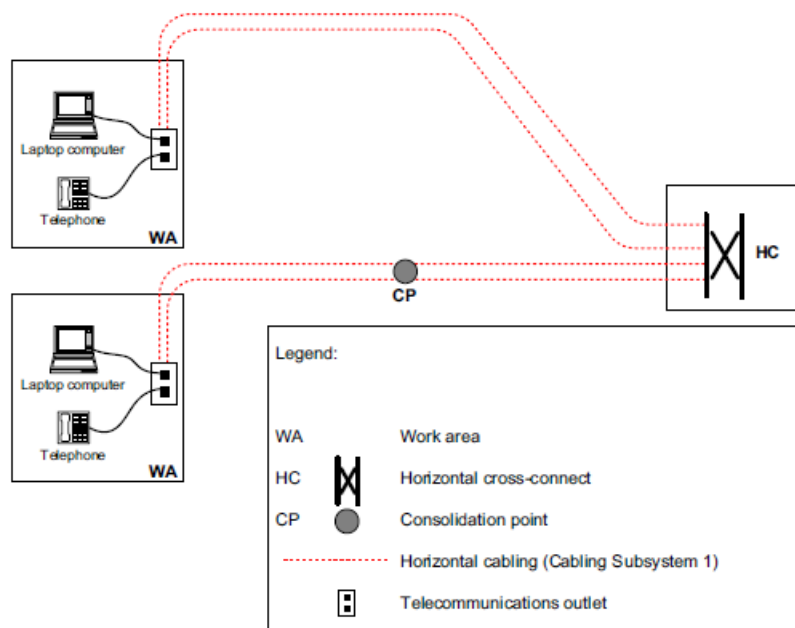


Рис. 1.2. Типова горизонтальна розводка кабелів в робочій зоні з використанням зіркоподібної топології

Стандарт забороняє використання в горизонталі шунтуватися відводів (тобто поява одних і тих же пар кабелю на кількох телекомунікаційних розетках, або, кажучи простою мовою, - запаралелювання ліній), а також використання муфт для металевих кабелів. Необхідність використання муфт в горизонтальних сегментах, довжина яких не може перевищувати 90 м, не обґрунтована, в той час як їх наявність може значно погіршувати робочі передають характеристики горизонтальній лінії. У разі волоконно-оптичних систем установка муфт дозволена, але рекомендується обмежити їх застосування телекомунікаційним шафою. Як правило, муфти в волоконно-оптичних системах і застосовуються в телекомунікаційних шафах при термінуванні розподільних волоконно-оптичних кабелів так званими шнурами pig-tail. Ця технологія дозволяє здійснювати перехід і підключення розподільних кабелів, що містять в собі волокна, як правило, невеликого розміру (діаметр буфера ~ 250 мкм) з конекторами, які вимагають термінування волокна з буферами більшого розміру (~ 900 мкм). Шнур pig-tail вдає із себе короткий відрізок волоконно-оптичного кабелю довжиною близько 1-3 м, якій був термінуваний в заводських умовах конектором. З'єднання

розподільного кабелю і шнура pig-tail здійснюється за допомогою, як правило, зварений муфти, що забезпечує високоякісний перехід з низькими втратами близько 0,01 - 0,1 дБ.

При кабелюванні робочих місць стандарт '568 для забезпечення мінімального універсального сервісу кінцевому користувачеві наказує встановлювати, як мінімум, дві телекомунікаційні розетки на кожному індивідуальному робочому місці. Число розеток (2) було вибрано на підставі середньостатистичної конфігурації сучасного телекомунікаційного сервісу - телефонія і додатки передачі даних (ЛВМ). Якщо в горизонтальній кабельній системі були застосовані екрановані компоненти, що вимагають підключення до телекомунікаційної системи заземлення, стандарт вимагає, щоб ця система заземлення відповідала відповідним будівельним нормативам, а також стандарту ANSI/TIA/EIA-607. Оскільки в різних регіонах і країнах можуть діяти місцеві національні нормативи щодо заземлення, наведене вище вимога стандарту можна трактувати наступним чином: "... система заземлення повинна відповідати відповідним будівельним нормативам, а також місцевим і національним нормативам і інструкціям по системам заземлення".

Магістральна кабельна система

Магістральна кабельна система забезпечує з'єднання телекомунікаційних шаф, апаратних (машинних залів) і міських вводів. Вона складається з магістральних кабелів, проміжних і головного кросів, точок термінування кабелів, а також патч-кордів або кроссировочних перемичок, використовуваних для комутації сегментів магістралі (рис. 1.3.). Магістраль також може існувати між будівлями в системі кампусу (містечка з декількох близько розташованих будівель).

Магістральна підсистема на вимогу стандарту повинна бути обмежена двома ієрархічними рівнями кросів (головним і проміжним). Між будь-якими двома горизонтальними кросами не може існувати більше трьох кросів, та між головним кросом і будь-яким горизонтальним кросом не може існувати більш одного кросу. Магістральна кабельна підсистема повинна мати топологічну конфігурацію "ієрархічна зірка" або просто "зірка". Кожен горизонтальний крос з'єднується безпосередньо з головним кросом або спочатку з проміжним кросом, а потім з головним кросом (рис. 1.4.).

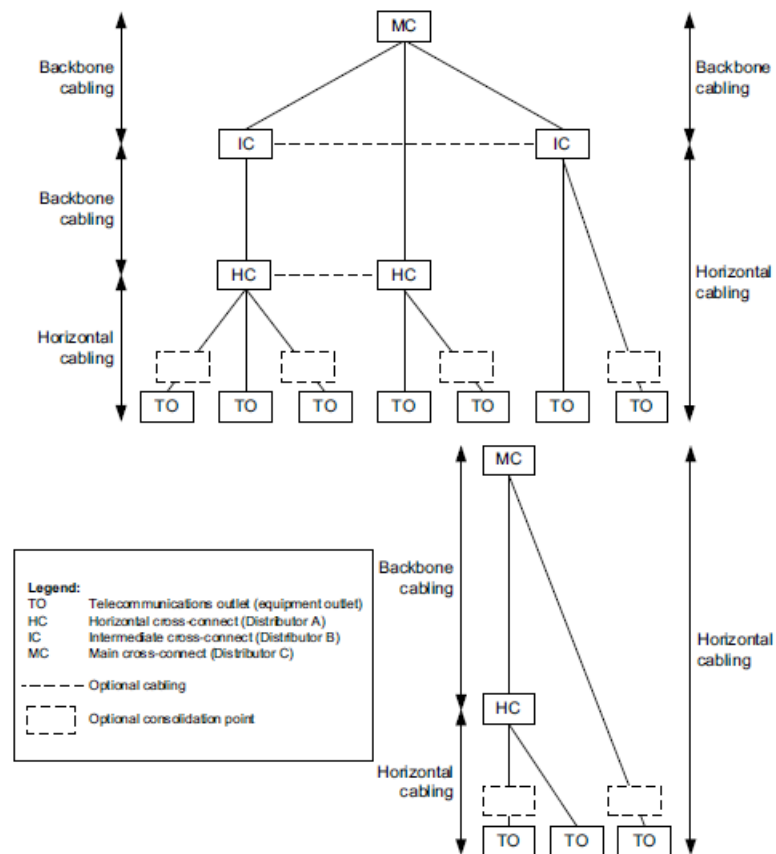


Рис. 1.3. Приклади ієрархічної топології зіркової комерційної будівлі

Магістралі по їх ієрархічному і топологічному розташуванню поділяються на два відповідних підтипу: магістралі першого і другого рівня і магістралі зовнішні та внутрішні. Магістраль першого рівня завжди починається в головному кросі, магістраль другого рівня починається в проміжному кросі. У загальному випадку, з точки зору конфігурації кабельної системи магістралі внутрішні і зовнішні нічим один від одного не відрізняються. Диференціація вводиться через те, що методи проектування та монтажу цих двох підтипів магістралей розрізняються досить істотно [10].

Стандартом допускається з'єднання двох ТС телекомунікаційним кабельним сегментом за умови, що таке кабелювання є доповненням до основної топології "зірка".

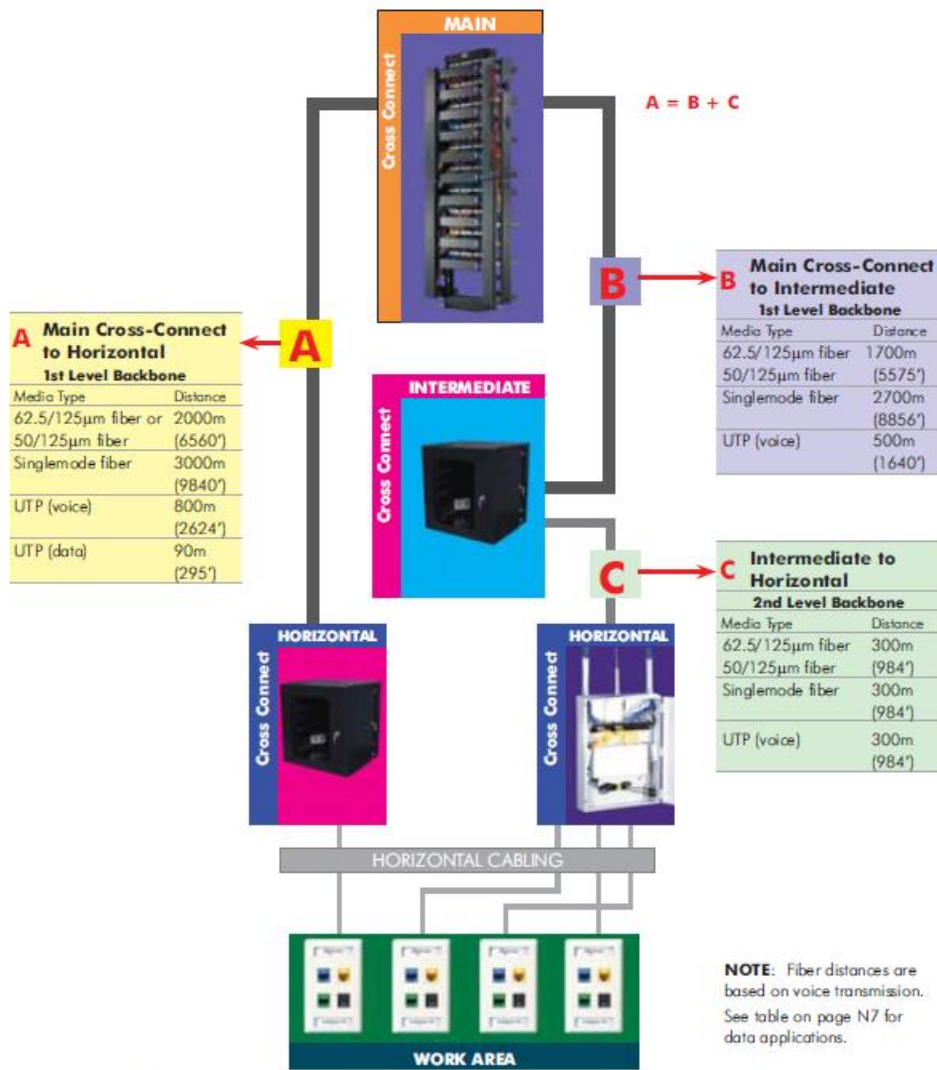


Рис. 1.4. Схема комутацій в магістральній кабельній системі

Кросове обладнання, що використовується для параметрів завершення різних типів кабелів повинно розташовуватися в одному і тому ж телекомунікаційному приміщенні. Визнані типи середовищ можуть використовуватися індивідуально або в поєднанні, як потрібно для конкретної інсталяції. Кількість пар і волокон, необхідне в окремих магістральних сегментах, залежить від розмірів обслуговується площі і визначається проектувальником системи [1].

Максимальні відстані кабельних сегментів в магістралі залежать від типу використовуваного додатка.

Максимально допустима відстань між кросами НС і ІС - 500 м, незалежно від типу передавальної середовища. Якщо відстань між НС і ІС менше максимального,

відстань між МС і ІС може бути збільшено за умови, що загальна максимально допустимий відстань не перевищено. У разі високошвидкісних додатків (робочі частоти понад 5 МГц) максимальна довжина магістралі визначена стандартом в 90 м. Це умова застосовно лише до безперервним сегментам магістралі (тобто за відсутності проміжного кросу). На практиці вищевказане вимога стандарту означає наступне: при використанні магістральних кабелів UTP категорій 3, 4 і 5 для роботи з додатками, діапазон частот яких знаходиться в межах 5-16 МГц, 5-20 МГц і 5-100 МГц відповідно, сумарна їх довжина не повинна перевищувати 90 м [16]. При використанні магістрального кабелю STP-A 150 Ом в додатках з смугою спектра від 5 до 300 МГц, сумарна довжина сегмента також не повинна перевищувати 90 м (табл. 1.2.). У всіх інших випадках при роботі низькошвидкісних додатків (робочі частоти нижче 5 МГц) довжина магістральних кабелів може досягати 800 м (табл. 1.1.).

Таблиця 1.1.

Відстань в магістралі (низькошвидкісні додатки)

Тип середовища	Відстань		
	Магістраль, МС-НС	Магістраль, ІС-НС	Магістраль, ІС-МС
UTP	800 м	500 м	300 м
STP-A	90 м		
Многомодове оптичне волокно 62,5 / 125 мкм	2000м	500 м	1500м
Одномодове волокно	3000 м	500 м	2500 м

Обмеження відстані магістралі в 90 м припускає, що на кожному кінці кабельного сегмента для підключення активного устаткування до магістралі можуть бути встановлені апаратні шнури довжиною до 5 м кожен. Довжина патч-кордів і кросировочних перемичок в МС і ІС не повинна перевищувати 20 м, а довжина кабелів, що з'єднують активне обладнання з магістральної кабельної системою, повинна бути не більше 30 м.

Використання шунтуючих відводів в магістралі заборонено.

Відстань в магістралі (високошвидкісні додатки)

Тип середовища	Відстань		
	Магістраль, МС-НС	Магістраль, ІС-НС	Магістраль, ІС-МС
Многомодове оптичне волокно 62,5 / 125 мкм	2000 м	500 м	1500м
одномодове волокно	3000 м	500 м	2500м
Багатопарний кабель UTP, категорія 3	90м		
Багатопарний кабель UTP, категорія 4	90 м		
Багатопарний кабель UTP, категорія 5	90 м		
Кабель STP-A, 300 МГц	90 м		

Робоче місце

Робоче місце за визначенням стандарту служить інтерфейсом між горизонтальною кабельною системою, що закінчується телекомунікаційною розеткою, і активним устаткуванням кінцевого користувача. Обладнання робочого місця та кабель (апаратний шнур), який використовується для підключення активного устаткування до ТО, що не входять в сферу дії стандарту '568.

Довжини горизонтальних кабелів визначаються з припущення, що максимально допустима довжина кабелю для підключення активного устаткування на робочому місці дорівнює 3 м. Робочі характеристики (категорія) шнурів активного устаткування повинні відповідати або бути краще робочих характеристик Петч-кордів тієї ж категорії.

Адаптери і пристрої, призначені для підтримки специфічних додатків, повинні встановлюватися поза стосовно телекомунікаційної розетці. При використанні таких адаптерів передбачається, що вони сумісні з категорією того горизонтального кабелю, до якого вони приєднуються.

Телекомунікаційна шафа

Телекомунікаційні шафи в загальному випадку розглядаються як пристрої, призначені для обслуговування горизонтальної розподільчої системи. Крім цієї основної функції, вони можуть виконувати і додаткові - в них допускається розміщення проміжних і головних кросів. Нижче перераховані деякі специфікації, які стосуються к кабелювання телекомунікаційних шаф. Чи не дозволяється використовувати перетермінування горизонтальних кабелів для внесення штатних змін в кабельну систему. Для цих цілей слід використовувати кроссировочні перемички і патч корди.

Кабелі і шнури, використовувані для підключення активного устаткування, не розглядаються стандартом як елементи кабельної системи. Максимально допустима сумарна довжина всіх патч-кордів і апаратних шнурів на обох кінцях лінії -10м. Дозволяється використовувати лише обладнання, що відповідає вимогам стандартів. Телекомунікаційні шафи повинні бути спроектовані і обладнані відповідно до вимог стандарту ANSI/EIA/TIA-569. Підключення активного обладнання в телекомунікаційному шафі дозволяється здійснювати за допомогою двох типів з'єднань - "міжз'єднання" і "крос-з'єднання".

1.3. Стандарт ISO/IEC 11801. Універсальні кабельні системи будівель

Наведена нижче інформація є оглядом стандарту ISO/IEC 11801 "Generic Cabling for Customer Premises".

Міжнародні організації зі стандартизації ISO і IEC, поряд з іншими національними організаціями, що займаються розробкою стандартів, брали участь в розробці Міжнародних телекомунікаційних стандартів (International Telecommunications Standards) через спеціальні технічні комітети, засновані відповідними організаціями по конкретних видах діяльності.

Призначення стандарту ISO/IEC 11801:

- визначення не залежить від типу додатків універсальної кабельної системи (УКБ) [2];

- забезпечення кінцевих користувачів гнучкою схемою кабелювання, легко і економічно дозволяє виконувати модифікацію системи;
- забезпечення будівельників-професіоналів (архітекторів) інструкціями, що дозволяють проектувати і будувати кабельні системи ще до того, як стануть відомі конкретні вимоги користувачів;
- визначення кабельної системи, що використовує кабельну продукцію, що відповідає вимогам ІЕС/ТС 46, коннектори, що відповідають вимогам ІЕС/ТС 48, волоконно оптичні кабелі і конектори, що відповідають вимогам ІЕС/ТС 86.

Призначення УКБ, визначеної в даному стандарті, - робота в середовищі офісу протягом більше 10 років. Даний стандарт оптимально підходить для приміщень, максимальна відстань між віддаленими точками яких становить до 3000 м, площа офісного простору досягає 1000000 м², а кількість персоналу становить від 50 до 50000 чоловік. Ці принципи також можуть бути застосовані і до систем, що не відповідає даним параметрам [4].

Даний стандарт визначає структуру і мінімальну конфігурацію УКБ, вимоги до конфігурацій, вимоги до робочих параметрах ліній і вимоги на відповідність і процедури перевірки.

Структура універсальної кабельної системи

До складу універсальної кабельної системи стандарту 11801 входять наступні підсистеми і елементи:

- Розподільник кампусу (CD - Campus Distributor)
- Магістральний кабель кампусу Розподільник будівлі (BD - Building Distributor)
- Магістральний кабель будівлі Розподільник поверху (FD - Floor Distributor)
- горизонтальний кабель
- Перехідна точка (додатково) (TP - Transition Point)
- Телекомунікаційна розетка (ТО - Telecommunications Outlet)

Кабельні підсистеми

У універсальної кабельної системі є три підсистеми (рис. 1.5.): Магістраль кампусу; Магістраль будівлі; Горизонтальна кабельна система.

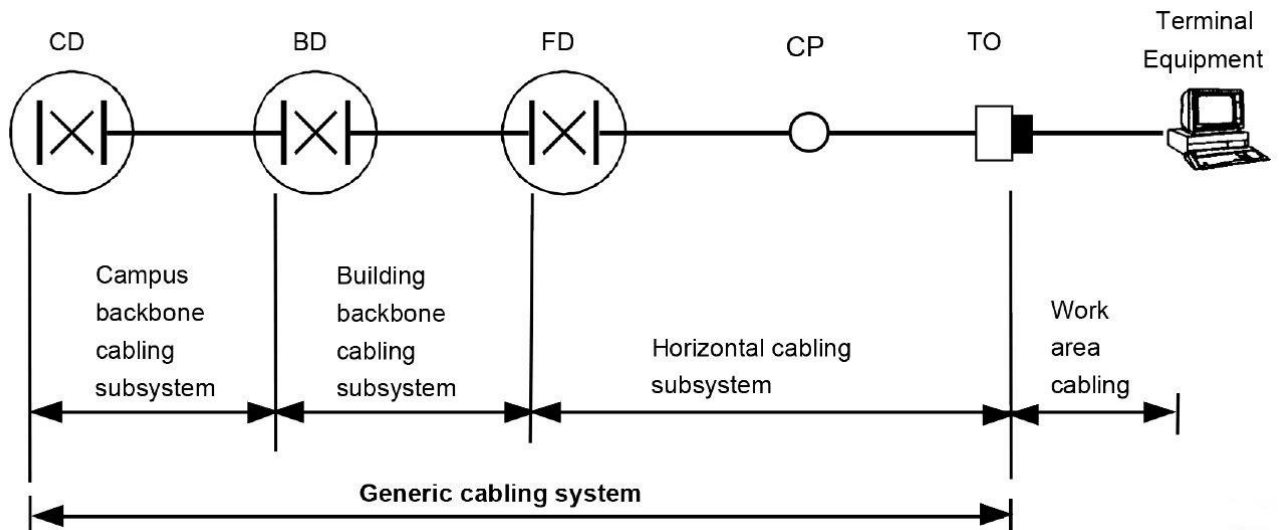


Рис. 1.5. Елементи універсальної кабельної системи

Кабельна підсистема. Магістраль кампусу проходить від розподільника кампусу (CD) до розподільника будівлі (BD), розташованих зазвичай в різних будівлях. Підсистема включає в себе магістральні кабелі кампусу, точки механічного термінування магістральних кабелів кампусу (як на CD, так і на BD), а також крос-з'єднання на CD.

Кабельна підсистема. Магістраль будівлі. Ця підсистема проходить між ВО та FD і включає в себе магістральні кабелі будівлі, точки механічного термінування магістральних кабелів будівлі (як на BD, так і на FD), а також крос-з'єднання на BD. Магістралі будівлі не повинні містити перехідних точок (ТР). Мідні магістральні кабелі не повинні мати муфт [5].

Горизонтальна кабельна підсистема проходить від FD до TO і включає в себе горизонтальні кабелі, точки їх механічного термінування в FD, крос-з'єднання в FD і TO. Горизонтальні кабелі повинні бути безперервними на всьому протязі від FD до TO. Якщо необхідно, між FD і TO допускається наявність однієї ТР. Кабельна система робочого місця з'єднує TO з термінальним обладнанням. Ця система не є постійною і являє собою специфічне додаток, тому вона не розглядається в даному стандарті.

Загальна структура. Універсальна кабельна система має ієрархічну структуру "зірка". Фактична топологія визначається просторовим розташуванням і розмірами

кампусу або будівлі. Нижче показано взаємодію функціональних елементів системи (рис. 1.6.).

Функції декількох розподільників можна комбінувати. На рис. 1.6. показаний приклад з двома будівлями. У передньому будівлі кожен розподільник розташовується окремо. У будівлі, розташованій на задньому плані, BD і FD можна скомбінувати в єдиний розподільник.

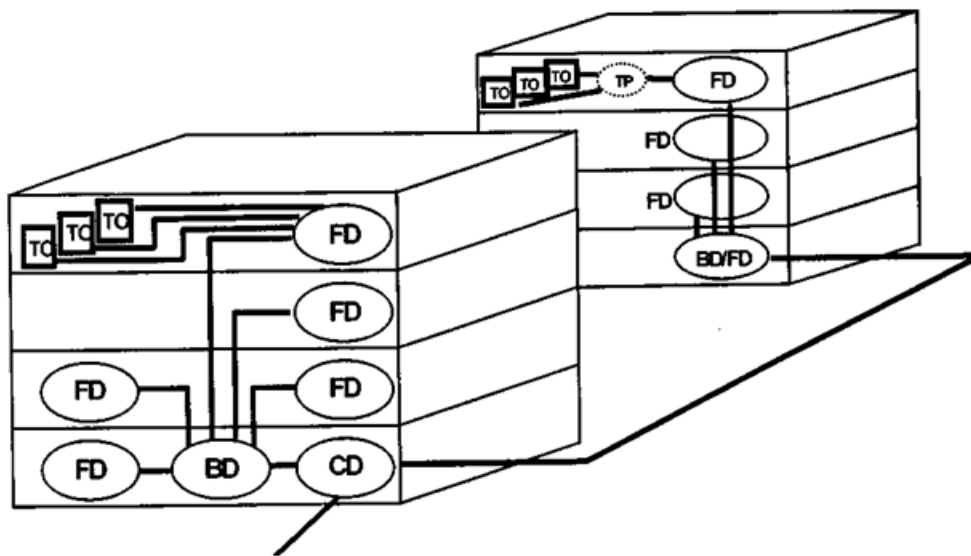


Рис. 1.6. Топологія та розташування в будівлі універсальної кабельної системи

Розміщення розподільників. Розподільники розміщуються в апаратних або в телекомунікаційних шафах. З них за відповідними трасами розходяться кабелі.

Інтерфейси універсальної кабельної системи. Засоби сполучення з УКБ розташовуються на кінцях кожної підсистеми. У цих точках може бути підключено обладнання, що підтримує специфічні додатки. Будь-який розподільник може мати інтерфейс із зовнішнім сервісним кабелем і використовувати для підключення до різних сегментів системи моделі межсоединения і крос-з'єднання (рис. 1.7.) [6-7].

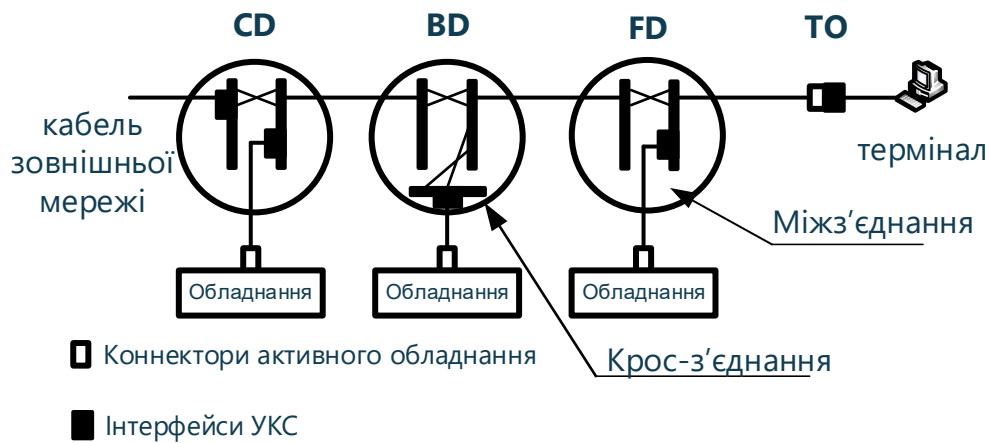


Рис. 1.7. Інтерфейси універсальної кабельної системи

Інтерфейс мережі загального користування. Вимоги до місця розташування інтерфейсу мережі загального користування (якщо він є) і до необхідних засобів забезпечення інтерфейсу повинні виконуватися відповідно на державному, регіональному та місцевих норм та правил.

Поверховий розподільник. На кожні 1000 м² площі статі, зарезервованого для офісів, повинен бути передбачений, як мінімум, один поверховий розподільник. На кожному поверсі повинен бути, принаймні, один FD.

Типи кабелю, що використовуюються в підсистемах. У табл. 37 вказані загальні правила, пов'язані із застосуванням різних типів середовищ в конкретних підсистемах і додатках.

Телекомунікаційні розетки (ТО) можуть розташовуватися на стіні, підлозі або в іншій точці робочого місця і повинні бути легко доступні на всій корисній площі підлоги. На кожному робочому місці повинна бути передбачена принаймні одна ТО, яку обслуговує симетричним кабелем 100 Ом або 120 Ом (перевага віддається кабелем 100 Ом). Інші ТО повинні обслуговуватися або також симетричним, або волоконно-оптичним кабелем.

Якщо ТО обслуговується симетричним кабелем, для параметрів завершення на кожній ТО повинні бути передбачені 2 або 4 пари; всі пари повинні бути термінувати. Якщо передбачено менше чотирьох пар, розетку слід чітко маркувати. Потрібна постійна маркування розетки; маркування повинно бути видно користувачеві. Слід

звертати увагу на те, щоб реєструвалося первісне призначення пар, а також всі наступні зміни.

Таблиця 1.3.

Рекомендовані типи середовищ в підсистемах УКБ

підсистема	Тип середовища	Рекомендоване застосування
горизонталь	симетричні кабелі	Передача мови і даних 1)
	Оптичне волокно	Передача даних 1>
магістраль будівлі	симетричні кабелі	Передача мови і даних на швидкостях від низьких до середніх
	Оптичне волокно	Передача даних на швидкостях від середніх до високих
магістраль кампусу	Оптичне волокно	Для більшості додатків, використовуючи оптичне волокно, можна подолати різницю потенціалів з землею та інші джерела перешкод
	симетричні кабелі	За необхідності 2>
<p>¹ При певних умовах (наприклад, умови навколишнього середовища, вимоги безпеки і т.д.) слід розглядати монтаж оптичного волокна в горизонтальній кабельній підсистемі.</p> <p>² Симетричні кабелі можна використовувати в кабельній магістральній підсистемі кампусу в тих випадках, коли не потрібно ширина смуги оптичного волокна, наприклад, в лініях PBX (офісна АТС).</p>		

У випадку використання таких пристроїв, як Балун і адаптери для узгодження різних передавальних середовищ, вони повинні знаходитися поза по відношенню до розетки.

Телекомунікаційні шафи і апаратні. Телекомунікаційний шафа (ТС) повинен забезпечувати наявність усіх засобів (простір, електроживлення, HVAC) для розташованих усередині нього пасивних компонентів, активних пристроїв, а також інтерфейсів мережі загального користування. Кожен ТС повинен мати прямий доступ до магістралі будівлі.

Апаратна - простір в межах будівлі, де розміщується телекомунікаційне обладнання та можуть перебувати (чи ні) розподільники. В апаратній може перебувати більше одного розподільника. Якщо телекомунікаційний шафа (ТС) містить більше одного розподільника, його слід вважати апаратної (ER).

Міське введення будівлі. Кошти міського введення необхідні в тих місцях, де в будівлю входять магістраль кампусу, кабелі приватної мережі та мережі загального користування (включаючи антену) і створюється перехід до внутрішніх кабельним сегментам.

Електромагнітна сумісність. Кабельна система приміщень вважається пасивною системою і не може бути протестована на відповідність вимогам EMC індивідуально. Активне обладнання повинно відповідати вимогам відповідного стандарту EMC [8].

Правила побудови системи

Максимальна довжина горизонтальної і магістральної кабельної підсистем приведені на рис. 1.8.

Кабелі та комутаційне обладнання різних категорій можуть співіснувати в межах підсистеми і/або кабельної лінії, але передають робочі характеристики лінії будуть визначатися категорією найменш продуктивного ланки.

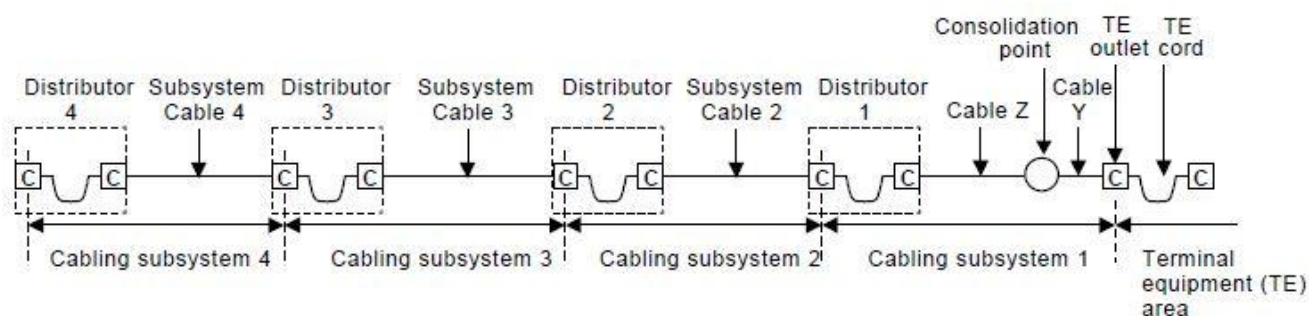


Рис. 1.8. ISO/IEC 11801 Загальні функціональні елементи

Загальні функціональні елементи, зазначені в ISO/IEC 11801, включають вихід кінцевого обладнання (TE), точку консолідації (CP), кабель підсистеми 1 (розділений

на кабель Y і кабель Z, якщо точка консолідації присутня), розподільник 1, інші кабелі підсистеми (наприклад, 2, 3 і 4) та інші розподільники (наприклад, 2, 3 і 4).

Кабелі з різними номінальними характеристиками опору, а також оптичні волокна з різними діаметрами ядра забороняється з'єднувати в межах однієї кабельної лінії. Багаторазова поява одного і того ж провідника або провідників, що проходять за точку термінування (шунтуючі відводи), не може бути частиною кабельної системи (рис. 1.9).

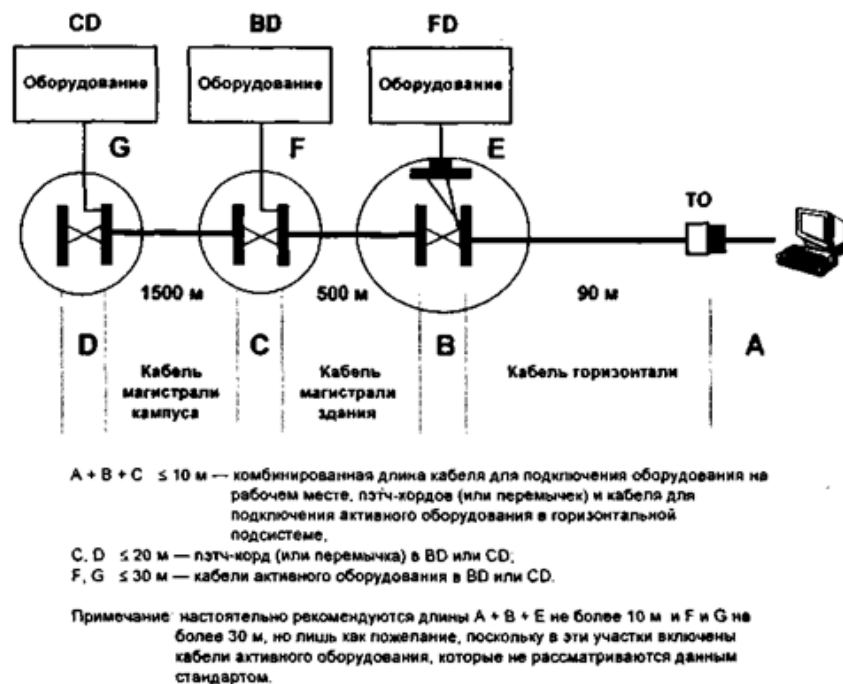


Рис. 1.9. Максимальна довжина магістральної і горизонтальній підсистем

1.4. ANSI/TIA-568-C.0: Рекомендації по прокладці оптоволоконних кабелів

Волоконно-оптичні комунікації мають ряд переваг в порівнянні з електронними системами, що використовують передаючі середовища на металевій основі.

У волоконно-оптичних системах передані сигнали не спотворюються жодній із форм зовнішніх електронних, магнітних або радіочастотних перешкод. Таким чином, оптичні кабелі повністю несприйнятливі до перешкод, що викликаються блискавками або джерелами високої напруги. Більш того, оптичне волокно не випускає випромінювання, що робить його ідеальним для відповідності вимогам сучасних стандартів

до комп'ютерних додатків. Внаслідок того, що оптичні сигнали не вимагають наявності системи заземлення, передавач і приймач електрично ізольовані один від одного і вільні від проблем, пов'язаних з виникненням паразитних струмових петель [9].

При відсутності зсуву потенціалів у системі заземлення між двома терміналами, виключає іскріння або електричні розряди, волоконна оптика стає все більш привабливим вибором для реалізації багатьох додатків, коли вимогою є безпечна робота в детонуючих або займистих середовищах.

Цифрові обчислювальні системи, телефонія і відео-системи мовлення вимагають нових напрямків для покращення передавальних характеристик. Велика ширина спектра оптичного кабелю означає підвищення ємності каналу. Крім того, довші відрізки кабелю вимагають меншої кількості репітерів, так як волоконно-оптичні кабелі мають надзвичайно низькими рівнями загасання. Це властивість ідеально підходить для ширококомовних і телекомунікаційних систем.

У порівнянні зі звичайними коаксіальними кабелями з рівною пропускнуою спроможністю, менший діаметр і вага волоконно-оптичних кабелів означає порівняно легший монтаж, особливо в заповнених трасах. 300 метрів одноволоконного кабелю важать близько 2,5 кг. 300 метрів аналогічного коаксіального кабелю важать 32 кг - приблизно в 13 разів більше [10].

Користувачі волоконно-оптичних мереж передачі даних з одним орендарем можуть уникнути використання розподіленого електронного обладнання, використовуючи метод централізованої прокладки кабелів. Централізоване електронне обладнання та кабелі скорочують вартість і складність, а також збільшують продуктивність передачі. Ці методи допускають великі відстані (Таблиця 1.4.). Метод підключення є найбільш гнучким і кращим (рис.1.10.).

ANSI/TIA-568-C.0 і C.1: Підтримувані відстані

Application	Wave length (nm)	Maximum Supportable Distance (m)				Maximum Channel Attenuation (dB)			
		Multimode			Single-mode	Multimode			Single-mode
		62.5/125	50/125	850 nm Laser Optimized 50/125		62.5/125	50/125	850 nm Laser Optimized 50/125	
10/100BASE-SX Gigabit Ethernet	850	300	300	300	NST	4.0	4.0	4.0	NST
1000BASE-SX	850	220	550	N/A	N/A	3.2	3.9	N/A	N/A
1000BASE-LX 10G Ethernet	1300	550	550	N/A	5000	4.0	3.5	N/A	4.7
10GBASE-S	850	26	82	300	NST	2.6	2.3	2.6	NST
10GBASE-L	1310	NST	NST	NST	10000	NST	NST	NST	6.0
10GBASE-E	1550	NST	NST	NST	40000	NST	NST	NST	11.0
10GBASE-LX4	1300	300	300	300	NST	2.5	2.0	2.0	NST
10GBASE-LX4	1310	N/A	N/A	N/A	10000	N/A	N/A	N/A	6.6

НОТАТКИ:

S = коротка довжина хвилі; L = довгохвильовий; E = Розширена довжина хвилі.

NST = нестандартний; N / A = Не застосовується.

LX4 = Мультиплексні (4) довжини хвилі

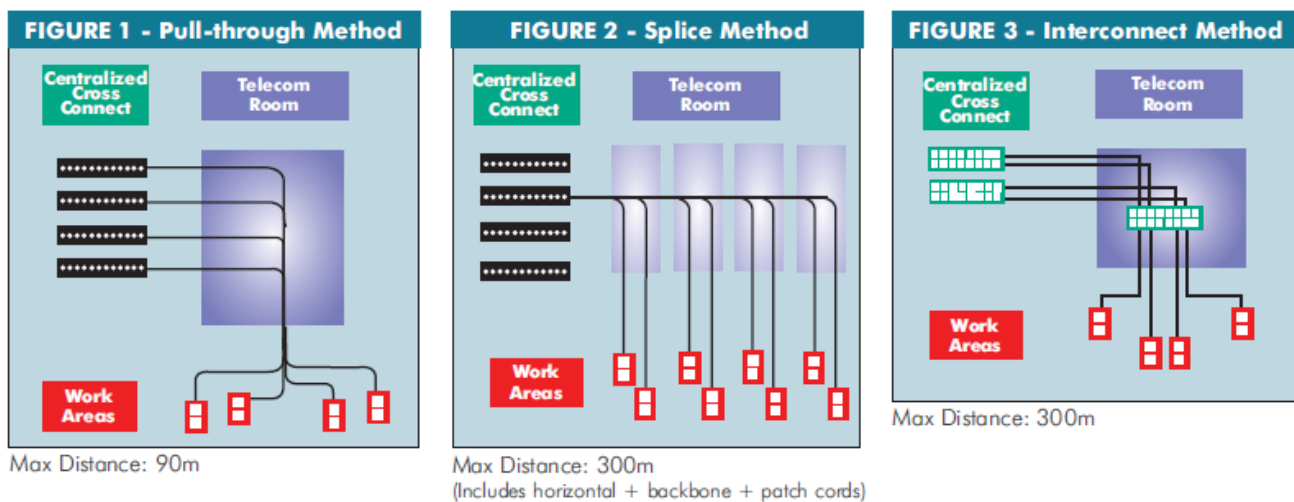


Рис.1.10. Метод централізованої прокладки кабелів

Конструкція волоконно-оптичного кабелю повинна складатися з багатомодових волокон 50/125 м, 62,5 / 125 м або одномодових оптичних волокон 9/125 м. Встановлені оптоволоконні кабелі і сполучна обладнання повинні відповідати вимогам ANSI / TIA-568-C.3 і застосовним розділах ANSI / TIA-568-C.1. Максимальні внесені втрати становлять 0,75 дБ для сполучених парних з'єднувачів всіх типів. Максимальні втрати при зварюванні становлять 0,3 дБ. Максимальні поворотні втрати становлять 20 дБ для багатомодового волокна і 26 дБ для одномодового волокна.

Все оптоволоконні лінії тестуються індивідуально. 2- і 4-оптичні кабелі для горизонтальної прокладки не повинні перевищувати радіус вигину не менше 25 мм (1 дюйм) без прикладеного навантаження. 2- і 4-оптичні кабелі для горизонтальної прокладки не повинні перевищувати радіус вигину не менше 50 мм (2 дюйми) при максимальній прикладеному навантаженню 222 Н (50 фунтів сили). Всі інші внутрішні оптоволоконні кабелі не повинні перевищувати мінімальний радіус вигину, в 10 разів перевищує зовнішній діаметр кабелю (OD) без прикладеного навантаження і в 15 разів перевищує зовнішній діаметр кабелю при прикладеної номінальному навантаженні [12].

Зовнішні оптоволоконні кабелі не повинні перевищувати мінімальний радіус вигину, в 10 разів перевищує зовнішній діаметр кабелю без прикладеного навантаження і в 20 разів перевищує зовнішній діаметр кабелю при прикладеної номінальному навантаженні. Зовнішні кабелі установки повинні мати мінімальне зусилля на розрив 2670 Н (600 фунтів сили).

Кабелі робочої станції (патч-корд) повинні мати мінімальну міцність на розрив 50 Н (11 фунтів сили).

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1

В даному розділі було розглянуто визначення основних елементів структурованої телекомунікаційної кабельної системи. А також стандарт телекомунікаційного кабелювання комерційних будівель ANSI/TIA/EIA-568-A, якій специфікує універсальну телекомунікаційну кабельну систему, здатну підтримувати додатки передачі мови і даних, а також середовище, побудовану на основі різних типів і видів активного обладнання, виготовленого різними виробниками.

Розглянуто було сферу дії стандарту. Стандарт EIA/TIA-568 має на меті регламентування загальних правил побудови кабельних систем комерційних будівель. Його створення було обумовлено необхідністю забезпечення підтримки широкого діапазону телекомунікаційних додатків, типів пристроїв і устаткування різних виробників. А також основні групи специфікацій. У TIA/EIA-568 описані шість підсистем телекомунікаційної кабельної інфраструктури.

Розглянуто стандарт ISO/IEC 11801, даний стандарт визначає структуру і мінімальну конфігурацію УКБ, вимоги до конфігурацій, вимоги до робочих параметрів ліній і вимоги на відповідність і процедури перевірки. Структура універсальної кабельної системи та правила побудови системи.

А також стандарт ANSI/TIA-568-C.0: Рекомендації по прокладці оптоволоконних кабелів.

РОЗДІЛ 2

ОПТИЧНІ ПІДСИЛЮВАЧІ

2.1. Переваги та недоліки оптичних підсилювачів

В оптичній системі зв'язку оптичні сигнали від передавача послаблюються оптичним волокном у міру їх поширення по ньому. Інші оптичні компоненти, такі як мультиплексори та з'єднувачі, також додають втрати. Після деякої відстані кумулятивна втрата сили сигналу призводить до того, що сигнал стає занадто слабким, щоб його можна було виявити. Перш ніж це станеться, рівень сигналу повинен бути відновлений. До появи оптичних підсилювачів протягом останнього десятиліття єдиним варіантом було регенерувати сигнал, тобто приймати сигнал і ретранслювати його. Цей процес здійснюється регенераторами. Регенератор перетворює оптичний сигнал в електричний, очищає його і перетворює назад в оптичний сигнал для подальшої передачі [10].

Оптичні підсилювачі мають ряд переваг перед регенераторами. З одного боку, регенератори специфічні для швидкості передачі даних і формату модуляції, використовуваних системою зв'язку. З іншого боку, оптичні підсилювачі нечутливі до швидкості передачі бітів або форматів сигналів. Таким чином, систему, що використовує оптичні підсилювачі, можна легше модернізувати, наприклад, до більш високої швидкості передачі даних, не замінюючи підсилювачі. Навпаки, в системі, що використовує регенератори, таке оновлення призводить до заміни всіх регенераторів. Крім того, оптичні підсилювачі мають досить велику ширину смуги посилення, і, як наслідок, один підсилювач може одночасно посилювати кілька сигналів WDM.

Навпаки, нам знадобиться регенератор для кожної довжини хвилі. Таким чином, оптичні підсилювачі стали важливими компонентами у високопродуктивних системах оптичного зв'язку.

Підсилювачі, однак, не є досконалыми пристроями. Вони створюють додатковий шум, і цей шум накопичується, коли сигнал проходить через кілька підсилювачів

по своєму шляху через аналогову природу підсилювача. Спектральна форма коефіцієнта посилення, вихідна потужність і перехідна поведінка підсилювача також є важливими міркуваннями для системних додатків. В ідеалі ми хотіли б мати досить високу вихідну потужність для задоволення потреб мережевого додатка. Ми також хотіли б, щоб коефіцієнт посилення був плоским в робочому діапазоні довжин хвиль і був нечутливий до змін вхідної потужності сигналу.

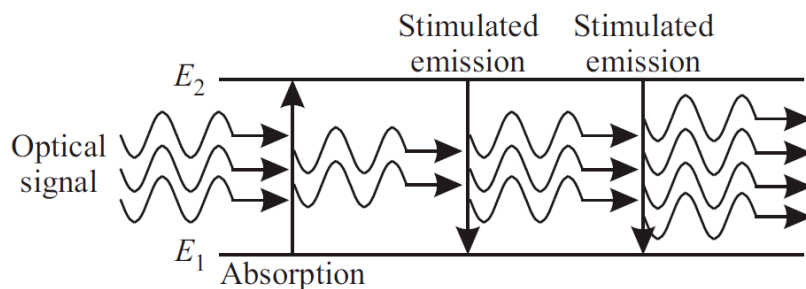


Рис. 2.1. Стимульоване випромінювання та поглинання в системі з двома енергіями рівнів.

Ми розглянемо два різні типи підсилювачів: оптичні підсилювачі, леговані ербієм (RAMAN) та напівпровідникові оптичні підсилювачі.

2.2. Сучасні оптичні підсилювачі RAMAN

Як можна побачити з рисунку рис. 2.2., спектр комбінаційного посилення досить широкий, і пік посилення зосереджений приблизно на 13 ТГц нижче частоти використовуваного сигналу накачування.

У цікавлячій нас ближньої області це відповідає поділу довжин хвиль близько 100 нм. Тому, накачуючи волокно за допомогою потужного лазера накачування, ми можемо забезпечити посилення інших сигналів, при цьому пікове посилення виходить на 13 ТГц нижче частоти накачування. Наприклад, використання насосів близько 1460-1480 нм забезпечує посилення комбінаційного розсіювання у вікні 1550-1600 нм [10].

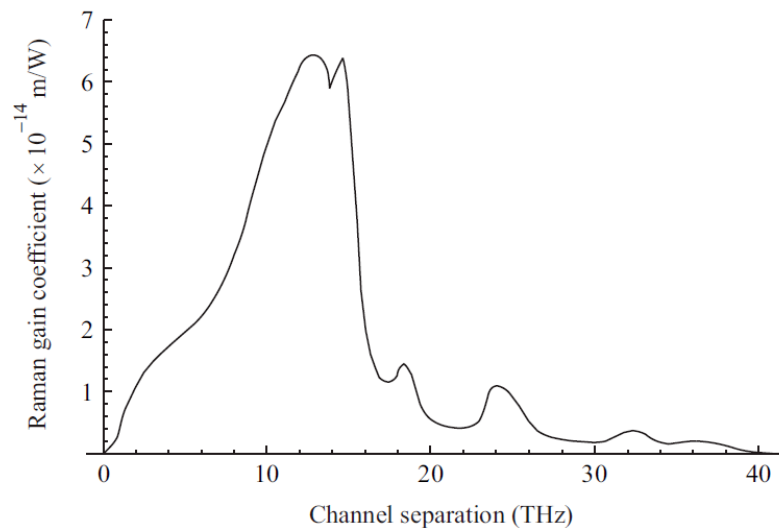


Рис. 2.2. Коефіцієнт посилення SRS як функція поділу каналу.

Кілька ключових атрибутів відрізняють RAMAN оптичні підсилювачі від EDFA. На відміну від EDFA, ми можемо використовувати ефект комбінаційного розсіювання для забезпечення посилення на будь-якій довжині хвилі. EDFA забезпечує посилення в C-і L-діапазонах (1528-1605 нм). Таким чином, посилення комбінаційного розсіювання може потенційно відкрити інші смуги для WDM, такі як вікно 1310 нм або так звана s-смуга, що лежить трохи нижче 1528 нм. Крім того, ми можемо використовувати кілька насосів з різними довжинами хвиль і різною потужністю одночасно, щоб адаптувати загальну форму посилення комбінаційного розсіювання.

По-друге, посилення комбінаційного розсіювання засноване на простому накачуванні того ж кремнеземного волокна, що використовується для передачі сигналів даних, так що його можна використовувати для створення зосередженого або дискретного підсилювача, а також розподіленого підсилювача. У цьому випадку RAMAN оптичний підсилювач складається з досить довгої котушки волокна разом з відповідними лазерами накачування в упаковці. У розподіленому випадку волокно може бути просто проміжком волокна, з насосом, прикріпленим до одного кінця проміжку, як показано на рис. 2.3.

Сьогодні найбільш популярним використанням RAMAN оптичних підсилювачів є доповнення EDFA за рахунок забезпечення додаткового посилення розподіле-

ним чином в системах наддалекої дальності. Найбільша проблема в реалізації підсилювачів комбінаційного розсіювання полягає в самому джерелі накачування. Ці підсилювачі вимагають потужних джерел накачування потужністю близько 1 Вт і більше при правильній довжині хвилі.

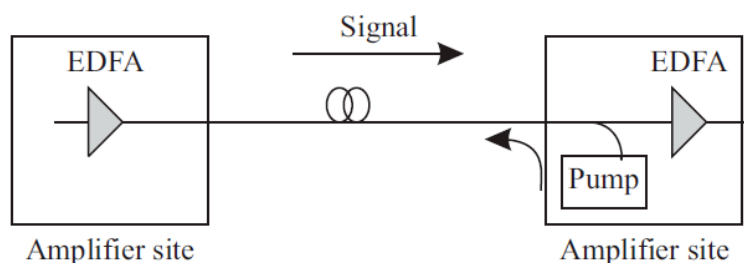


Рис. 2.3. Розподілений комбінований підсилювач за допомогою зворотного розповсюджувального насоса, що працює разом з дискретними підсилювачами, легованими ербієм.

Джерела шуму в RAMAN оптичних підсилювачах дещо відрізняються від EDFA. Посилення комбінаційного розсіювання миттєво реагує на потужність насоса. Тому коливання потужності накачування приведуть до зміни коефіцієнта посилення і будуть проявлятися як перехресні перешкоди для бажаних сигналів. Це не стосується EDFA. Тому для RAMAN оптичних підсилювачів важливо підтримувати насос на постійній потужності. Поширення накачування в напрямку, протилежному сигналу, значно допомагає, оскільки коливання потужності накачування потім усереднюються за часом поширення по волокну. Щоб зрозуміти це, спочатку розглянемо випадок, коли насос поширюється разом з сигналом в тому ж напрямку. Дві хвилі рухаються приблизно з однаковою швидкістю. У цьому випадку, коли потужність насоса висока на вході, сигнал бачить високий коефіцієнт посилення, а коли потужність низька, сигнал бачить більш низький коефіцієнт посилення. Тепер розглянемо випадок, коли сигнал і насос рухаються в протилежних напрямках. Щоб все було просто, припустимо, що потужність насоса варіюється між двома станами: високим і низьким. Коли сигнал поширюється по волокну, всякий раз, коли він перекривається з сигналом накачування в стані високої потужності, він забезпечує високий коефіцієнт

посилення. Коли він перекривається з сигналом накачування в стані низької потужності, він забезпечує більш низьке посилення. Якщо коливання накачування відносно швидкі в порівнянні з часом поширення сигналу по волокну, зміни коефіцієнта посилення усереднюються, і до того часу, коли сигнал виходить з волокна, він має постійне посилення [10].

Ще одна серйозна проблема з RAMAN оптичними підсилювачами-перехресні перешкоди між сигналами WDM через посилення комбінаційного розсіювання. Модульований сигнал на певній довжині хвилі виснажує потужність накачування, ефективно накладаючи ту ж модуляцію на сигнал накачування. Ця модуляція на накачуванні потім впливає на коефіцієнт посилення, що спостерігається на наступній довжині хвилі, ефективно проявляючись у вигляді перехресних перешкод на цій довжині хвилі. Знову ж таки, поширення накачування в напрямку, протилежному сигналу, різко знижує цей ефект. З цих причин більшість комбінаційних підсилювачів використовують геометрію зустрічного насоса. Інше джерело шуму пов'язане з зворотними відбитками сигналу накачування, викликаними релеєвским розсіюванням у волокні. Шум спонтанного випромінювання відносно низький в RAMAN оптичних підсилювачах. Зазвичай це домінуюче джерело шуму, тому що при ретельному проектуванні ми можемо усунути більшість інших джерел шуму.

2.3. Сучасні напівпровідникові оптичні підсилювачі (SOA)

Напівпровідникові оптичні підсилювачі (SOA) фактично передували EDFA, хоча можна побачити, що вони не такі хороші, як EDFA для використання в якості підсилювачів. Однак вони знаходять і інші застосування в перемикачах і пристроях перетворення довжин хвиль. Більш того, розуміння SOA є ключем до розуміння напівпровідникових лазерів, найбільш широко використовуваних в структурі сучасних передавачів [10].

На рис. 2.4. показана структурна схема напівпровідникового оптичного підсилювача. SOA по суті є p-n – переходом. Як ми незабаром пояснимо, шар виснаження, який утворюється на стику, діє як активна область. Світло посилюється за рахунок

поляризованого випромінювання, коли воно поширюється через активну область. Для підсилювача два кінці активної області покриті просвітлюючим покриттям (AR), щоб усунути брижі в коефіцієнті посилення підсилювача в залежності від довжини хвилі. Крім того, грані також можуть бути злегка нахилені, щоб зменшити відбиття. У випадку напівпровідникового лазера не було б покриття AR.

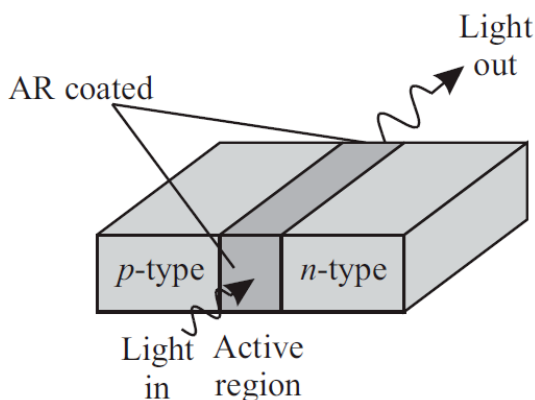


Рис. 2.4. Структурна схема напівпровідникового оптичного підсилювача. Відбувається посилення коли світло поширюється через активну область. Фасетам надається противідбивний засіб покриття для запобігання небажаним відбиттям, які спричиняють пульсації посилення підсилювача.

SOA відрізняються від EDFA тим, що досягається інверсія поляризації. По-перше, велика кількість негативно заряджених іонів перебуває в різних енергетичних станах, а носії-електронів або дірок – в напівпровідниковому матеріалі. Дірки також можна розглядати як носії заряду, подібні електронам, за винятком того, що вони мають позитивний заряд. Напівпровідник складається з двох смуг рівнів енергії електронів: смуги з низьким рівнем рухливості, званої валентною зоною, і смуги з високим рівнем рухливості, званої зоною провідності. Ці смуги розділені різницею енергій, званої забороненою зоною. У забороненій зоні не існує енергетичних рівнів. Розглянемо напівпровідниковий матеріал р-типу. При тепловій рівновазі концентрація електронів в зоні провідності матеріалу дуже мала, як показано на рис. 2.5. (а).

З посиланням на попереднє обговорення EDFA зручно думати про зону провідності як про зону з більш високою енергією E_2 , а про валентну зону як про зону з

більш низькою енергією E_1 . Терміни "вище" і "нижче" відносяться до енергії електронів в цих смугах. (Зверніть увагу, що якщо б ми розглядали напівпровідник n-типу, ми б розглядали енергії дірок, а не енергії електронів, зона провідності була б нижчою енергетичною зоною E_1 , а валентна зона-більш високою енергетичною зоною E_2 .)

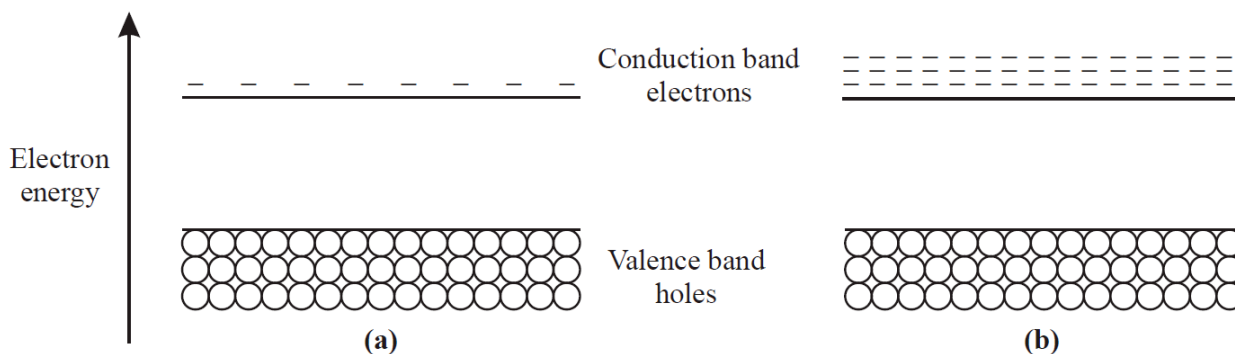


Рис. 2.5. Енергетичні смуги в напівпровіднику р-типу та концентрація електронів при (а) тепловій рівновазі та (б) інверсії популяції.

В умовах інверсії концентрація електронів в зоні провідності значно вище, як показано на рис.2.5. (б). Ця підвищена концентрація така, що в присутності оптичного сигналу існує більше електронів, що переходять із зони провідності в валентну зону в процесі стимульованого випромінювання, ніж електронів, що переходять з валентної зони в зону провідності в процесі поглинання. Фактично, для SOA ця умова повинна використовуватися в якості визначального фактору для інверсії або оптичного посилення [10].

Інверсія в SOA досягається шляхом прямого зміщення р-n-переходу. Р-n-перехід складається з двох напівпровідників: напівпровідника р-типу, який легований відповідними атомами домішки, щоб мати надлишкову концентрацію дірок, і напівпровідника n-типу, який має надлишкову концентрацію електронів.

Коли два напівпровідники знаходяться в сусідньому положенні, як показано на рис.2.6.(а), дірки дифундують з напівпровідника р-типу в напівпровідник n-типу, а електрони дифундують з напівпровідника n-типу в напівпровідник р-типу. Це створює область з чистим негативним зарядом в напівпровіднику р-типу і область з чис-

тим позитивним зарядом в напівпровіднику n-типу, як показано на рис.2.6.(b). Ці області позбавлені вільних носіїв заряду і разом називаються областю виснаження. Коли на р-n-перехід не подається напруга (зміщення), концентрації неосновних носіїв (електронів в області р-типу і дірок в області n-типу) залишаються на своїх значеннях теплової рівноваги.

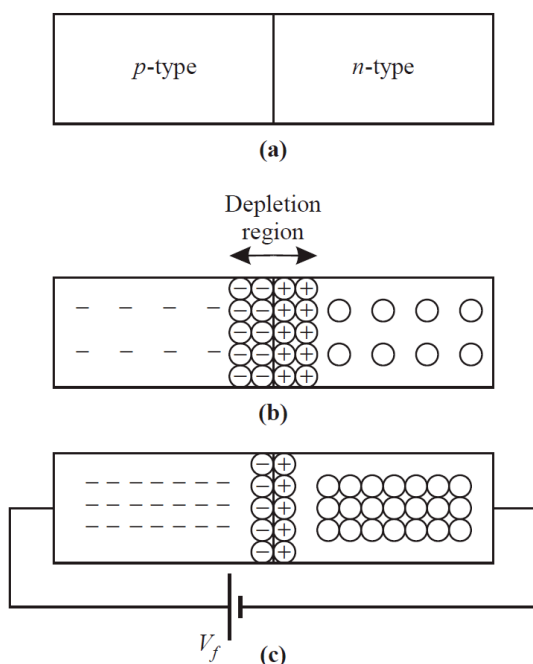


Рис. 2.6. Р-n-перехід, зміщений вперед, що використовується як підсилювач.

(a) рn-перехід.

(b) Концентрації носіїв меншин і область виснаження без напруги зміщення.

(c) Концентрації носіїв меншості та область виснаження з напругою прямого зміщення, V_f .

Коли перехід зміщений вперед-позитивний зсув застосовується до р-типу і негативний зсув до n-типу-як показано на рис. 2.6. (c), ширина області виснаження зменшується, і відбувається дрейф електронів з області n-типу в область р-типу. Цей дрейф збільшує концентрацію електронів в зоні провідності області Р-типу. Аналогічно, відбувається дрейф дірок з області р-типу в область n-типу, що збільшує концентрацію дірок у валентній зоні області n-типу. Коли напруга прямого зміщення досить

велика, ці збільшені концентрації неосновних носіїв призводять до інверсії і р-n-перехід діє як оптичний підсилювач.

На практиці простий р-n-перехід не використовується, але застосовується тонкий шар іншого напівпровідникового матеріалу затиснутий між областями р-типу і n-типу. Такий пристрій називається гетероструктурою. Потім цей напівпровідниковий матеріал утворює активну область або шар. Матеріал, який використовується для активного шару, має дещо меншу пропускну здатність і більш високий показник заломлення, ніж навколишні області р-типу та n-типу. Менша заборонена зона допомагає обмежити носії, інжектвані в активну область (електрони з області n-типу і дірки з області р-типу). Більший показник заломлення допомагає обмежити світло під час посилення, так як структура тепер утворює діелектричний хвилевід.

У напівпровідникових оптичних підсилювачах умова інверсії (стимульоване випромінювання перевищує поглинання) повинна оцінюватися як функція оптичної частоти або довжини хвилі. Розглянемо оптичну частоту f_c , таку, що $hf_c > E_g$, де E_g - ширина забороненої зони напівпровідникового матеріалу. Найнижча оптична частота (або найбільша довжина хвилі), яка може бути посилена, відповідає цій смузі пропускання. У міру збільшення напруги прямого зміщення спочатку досягається умова інверсії для цієї довжини хвилі. У міру подальшого збільшення напруги прямого зміщення електрони, інжектвані в область р-типу, займають все більш високі енергетичні рівні, і сигнали з меншими довжинами хвиль можуть посилюватися. На практиці ширина смуги пропускання близько 100 нм може бути досягнута за допомогою SOA. Це набагато більше, ніж те, що можна досягти за допомогою EDFA. Сигнали в діапазонах 1,3 і 1,55 мкм можуть навіть одночасно посилюватися за допомогою SOA. Тим не менш, EDFA широко переважає SOA з кількох причин. Основна причина полягає в тому, що SOA створюють серйозні перехресні перешкоди, коли вони використовуються в системах WDM. Виграш і вихідна потужність, досяжні за допомогою EDFA, вище. Втрати зв'язку та поляризаційно-залежні втрати також нижчі при використанні EDFA, оскільки підсилювач також є волокном. Через більш високі втрати вхідного зв'язку SOA мають більш високі показники шуму в порівнянні з EDFA. Нарешті, SOA

вимагає дуже високоякісних просвітлюючих покриттів на своїх гранях (відбивна здатність менше 10^{-4}), що нелегко досягти. Більш високі значення відбивної здатності створюють брижі в спектрі посилення і викликають зміни посилення через коливання температури. Цей пристрій нагадує фільтр Фабрі-Перо з дуже поганою відбивною здатністю, а спектр аналогічний спектру, зображеному на рис.2.7. для випадку поганої відбивної здатності. В якості альтернативи грані SOA можуть бути нахилені під кутом для отримання бажаних коефіцієнтів відбиття за рахунок збільшення поляризаційної залежності [12].

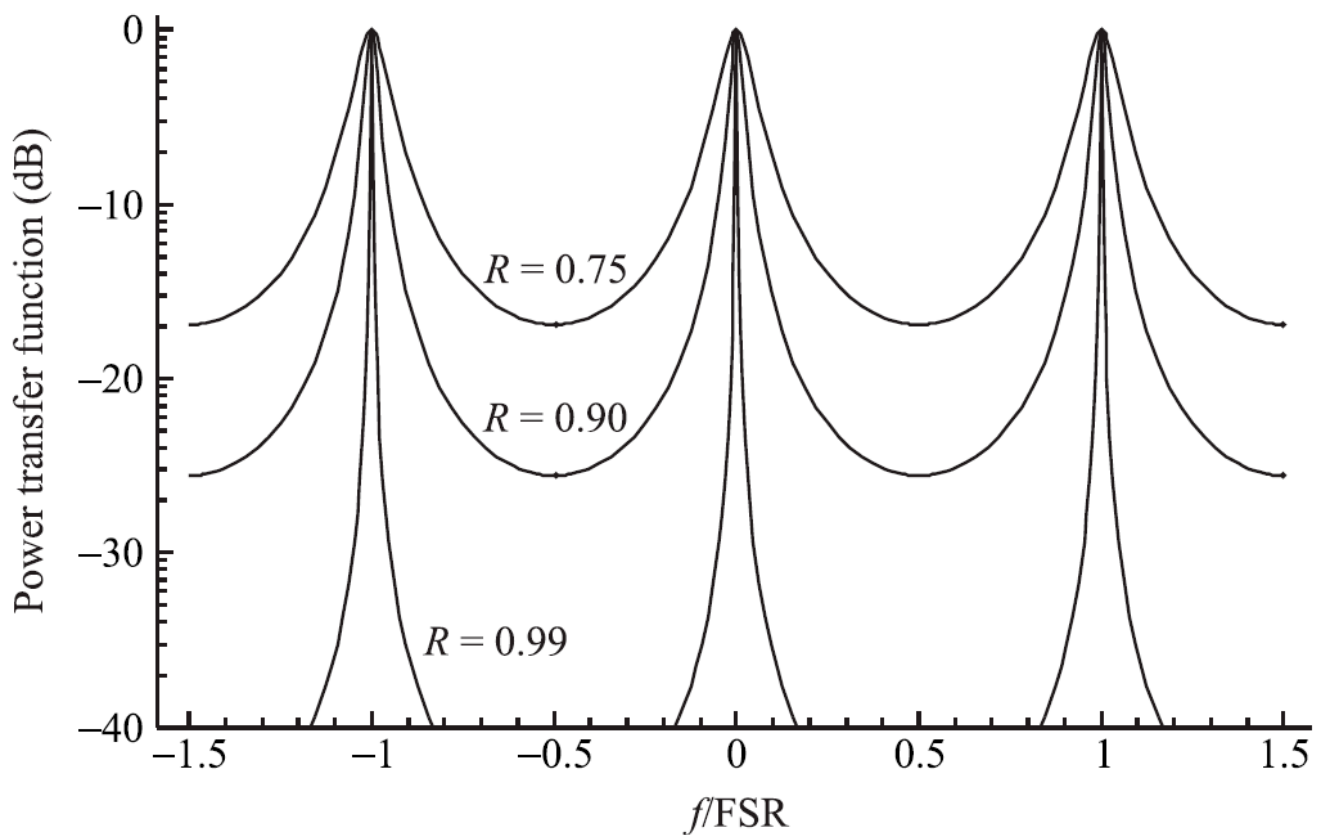


Рис. 2.7. Функція передачі фільтра Фабрі-Перо. FSR позначає вільний спектральний діапазон, f частота, а відбивна здатність R .

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2

У даному розділі було розглянуто переваги та недоліки оптичних підсилювачів. Оптичні підсилювачі мають ряд переваг перед регенераторами. З одного боку, регенератори специфічні для швидкості передачі даних і формату модуляції, використовуваних системою зв'язку. З іншого боку, оптичні підсилювачі нечутливі до швидкості передачі бітів або форматів сигналів. Таким чином, систему, що використовує оптичні підсилювачі, можна легше модернізувати, наприклад, до більш високої швидкості передачі даних, не замінюючи підсилювачі.

Також розглянуто сучасні оптичні підсилювачі RAMAN та сучасні напівпровідникові оптичні підсилювачі (SOA).

РОЗДІЛ 3

РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ВОЛЗ З ВИКОРИСТАННЯМ ОПТИЧНИХ ПІДСИЛЮВАЧІВ

3.1. Розрахунок довжини ділянки оптичного підсилення

Для боротьби зі зниженням рівня оптичного сигналу при його проходженні через складне заводове середовище найчастіше використовуються оптичні підсилювачі на волокні, легваному ербієм. Цей тип підсилювачів має ряд переваг, які призвели до їх широкого розповсюдження та використання в останні роки. По-перше, цей клас підсилювачів не вимагає складної настройки на частоту переданого сигналу, бо підсилення сигналу здійснюється на досить широкій частоті. Ці переваги безпосередньо дозволяють легко збільшити пропускну здатність мережі без зміни шляху до мультимедійного пристрою. У зв'язку з цим сигнал не потрібно перетворювати в інший вигляд, щоб підсилити його. Оптичні підсилювачі також працюють з сигналами будь-якого розміру і призначення. Ці переваги роблять їх просто незамінними для спільної роботи з розроблюваною структурованою кабельною системою [18].

Розрахунок довжини ділянки посилення [14]:

$$L_y = \frac{L_{стр}(P_{пер} - P_{пр} - n_p \alpha_p - A_{зап} - \alpha_{вв} + \alpha_n)}{\alpha_n + \alpha_{км} L_{буд}}, \quad (3.1)$$

де $L_{буд}$ – Будівельна довжина кабелю, $L_{буд} = 6$ км;

$p_{пер}$ – рівень сигналу на передавальній стороні, $p_{пер} = 7$ дБ;

$p_{пр}$ – необхідний рівень сигналу на приймальній стороні, $p_{пр} = -13$ дБ;

n_p – кількість рознімних з'єднань в лінійному тракті системи, $n_p = 2$;

α_p – загасання сигналу в роз'ємному з'єднувачі, $\alpha_p = 0,4$ дБ;

$A_{зан}$ – енергетичний запас на старіння елементів оптичного тракту: джерела випромінювання, ВО кабелю, оптоелектронного перетворювача, параметрів електричних схем, $A_{зан} = 3$ дБ;

$\alpha_{вв}$ – втрати при введенні оптичної енергії в волокно, коли джерело випромінювання приєднується до станційного кабелю, $\alpha_{вв} = 2$ дБ;

α_n – загасання сигналу в нероз'ємному (зварному) з'єднанні, $\alpha_n = 0,05$ дБ;

$\alpha_{км}$ – кілометричне загасання сигналу ВОЛЗ, на довжині хвилі 1550 нм $\alpha_{км} = 0,25$ дБ/км.

Розрахунок:

$$L_y = \frac{6 \cdot (7 - (-13) - 2 \cdot 0,4 - 3 - 2 + 0,05)}{0,05 + 0,25 \cdot 6} = 55,16 \text{ км}$$

Розрахована таким чином довжина підсилювальної ділянки оптичного сигналу справедлива для обох напрямків передачі інформації, якщо використовується однакове обладнання з однаковими рівнями сигналу та однакові оптичні підсилювачі.

3.2. Розрахунок довжини регенераційної ділянки

1) Розрахунок потужності шуму внесеного підсилювачем.

Є багато специфічних функцій у використаних оптичних підсилювачах. Одна з них полягає в тому, що за відсутності вхідного сигналу підсилювач є джерелом безшовних викидів фотонів. Радіаційний спектр залежить від розміру енергетичного сектора атомів та статистичного розподілу рівня оптичного сигналу. Легкогенеровані фотони поширюються через волокно в оригінальному підсилювача EDFA і повторюються, що призводить до вторинних фотонів на тій же довжині хвилі, з напрямком тієї ж фази, поляризації та поширення. Отриманий спектр безшовних фотонів називається посиленням безперервними викидами (ASE). 1 Гц нормалізується за потужність, і вона має розмірність w / hz . Якщо сигнал застосовується до входу

підсилювача сигналу, то певна частка енергетичних шумів, які працювали для першого ампліфікованого безперервного випромінювання, починається в ефекті сигналу з лазера, що збільшує вхідний сигнал. Таким чином, посилюється не тільки корисний вхідний сигнал, але і ASE. Незважаючи на це, все ще необхідно мати на увазі шум, представлений оптичними підсилювачами. Накопичений шум впливає на якість переданого сигналу, і якщо SNR зменшується нижче необхідного рівня, сигнал повинен бути відновлений. Тому необхідно розрахувати максимально можливу кількість оптичних підсилювачів сигналу, розташованих між регенераційними ділянками проектованої структурованої кабельної системи [12].

Потужність підсиленого одним оптичним підсилювачем спонтанного випромінювання можна знайти безпосередньо за формулою [14]:

$$ASE = hv \frac{n_{sp}}{\eta} (G - 1), \quad (3.2)$$

де h – постійна Планка, $h = 6,6252 \cdot 10^{-34} \text{ Вм} \cdot \text{с}^2$;

ν – частота відповідно до використовуваної довжиною хвилі,

$\nu = 193,2 \cdot 10^{12} \text{ Гц}$;

n_{sp} – коефіцієнт спонтанної емісії, $n_{sp} = 2$, оскільки поширюються дві моди поляризації;

η – квантова ефективність, $\eta = 1$;

G – коефіцієнт посилення підсилювача, раз (в абсолютних одиницях виміру), $G = 100$.

Розрахунок:

$$ASE = 6,6252 \cdot 10^{-34} \cdot 193,2 \cdot 10^{12} \cdot \frac{2}{1} (100 - 1) = 25,34 \cdot 10^{-18} \text{ Вт} \cdot \text{с}$$

Рівень потужності шуму $P_{ш_ASE}$ підсилювача для смуги частот, в якій здійснюється передача сигналу ($\Delta f = 100 \text{ ГГц}$) [11]:

$$P_{ш_ASE} = ASE \cdot \Delta f \quad (3.3)$$

Розрахунок:

$$P_{ш_ASE} = 25,34 \cdot 10^{-18} \cdot 100 \cdot 10^9 = 2,534 \cdot 10^{-6} \text{ Вт}$$

Маючи обчисленими характеристики шуму, внесеного оптичним підсилювачем, можна знайти максимально можливу кількість оптичних підсилювачів, після проходження яких зберігається необхідне відношення сигнал / шум.

2) *Розрахунок відношення сигнал / шум.*

При передачі сигналу по ВОЛЗ з підсилювачами EDFA відбувається накопичення шумів. Дане явище обумовлене двома факторами: безпосереднім підсиленням вхідного шуму і додаванням до нього підсиленого спонтанного випромінювання. Вхідним шумом для першого оптичного підсилювача виступає потужність шуму нульових флуктуацій, якою можна знехтувати при розрахунках.

Знайдемо абсолютний рівень сигналу [11]:

$$p_{ш_ase} = 10 \cdot \log \left(\frac{P_{ш_ase}}{P_0} \right), \quad (3.4)$$

де P_0 - нульовий рівень оптичного сигналу ($1 \cdot 10^{-3}$ В);

$$p_{ш_ase} = 10 \cdot \log \left(\frac{2,534 \cdot 10^{-6}}{1 \cdot 10^{-3}} \right) = -25,96 \text{ дБ}$$

Для знаходження потужність шуму на виході k -го підсилювача використовується формула:

$$P_{ш_ASEK} = P_{ш_ASE} \cdot K \quad (3.5)$$

Для знаходження рівня шуму на виході k -го підсилювача оптичного сигналу використовується формула [9]:

$$p_{ш_asek} = 10 \cdot \log \left(\frac{P_{ш_ASEk}}{P_0} \right) \quad (4.6)$$

Розрахунок:

$$p_{ш_ase2} = -22,95 \text{дБ}$$

$$p_{ш_ase3} = -21,19 \text{дБ}$$

$$p_{ш_ase4} = -19,94 \text{дБ}$$

$$p_{ш_ase5} = -18,97 \text{дБ}$$

$$p_{ш_ase6} = -18,18 \text{дБ}$$

$$p_{ш_ase7} = -17,51 \text{дБ}$$

$$p_{ш_ase8} = -16,93 \text{дБ}$$

$$p_{ш_ase9} = -16,42 \text{дБ}$$

$$p_{ш_ase10} = -15,96 \text{дБ}$$

$$p_{ш_ase11} = -15,55 \text{дБ}$$

Для знаходження відношення сигнал / шум в дБ на виході k -го підсилювача використовується формула:

$$ВСШ_k = p_{вих} - p_{ш_ASE} - 10 \cdot \log(k), \quad (3.7)$$

де $p_{вих}$ – рівень сигналу на виході оптичного підсилювача, дБ ;

$p_{ш_ASE}$ – рівень шуму внесеного оптичним підсилювачем, дБ .

Розрахунок:

$$всш_1 = 7 - (-25,96) - 10 \cdot \log(1) = 32,96\text{дБ}$$

$$всш_2 = 29,95\text{дБ}$$

$$всш_3 = 28,19\text{дБ}$$

$$всш_4 = 26,93\text{дБ}$$

$$всш_5 = 25,97\text{дБ}$$

$$всш_6 = 25,18\text{дБ}$$

$$всш_7 = 24,5\text{дБ}$$

Розраховані значення за допомогою програмного пакету MathCad 15 можна представити у вигляді об'єднаного графіка (Рис.3.1).

Крім цього, на графіку показані рівні сигналу і шуму після проходження безпосередньо декількох оптичних підсилювачів, а також необхідну ВСШ в 25 дБ. Ці результати справедливі для двох напрямків передачі інформації. Видно, що зі збільшенням кількості оптичних підсилювачів зростає рівень накопиченого шуму в лінії. Це веде безпосередньо до зменшення відношення сигнал / шум. На прикладі необхідне ВСШ зберігається на виході лінії з використанням 7 оптичних підсилювачів. Далі необхідна обов'язкова регенерація сигналу, оскільки рівень накопиченого шуму досить високий. Його безпосереднє збільшення призведе до зниження якості переданої інформації.

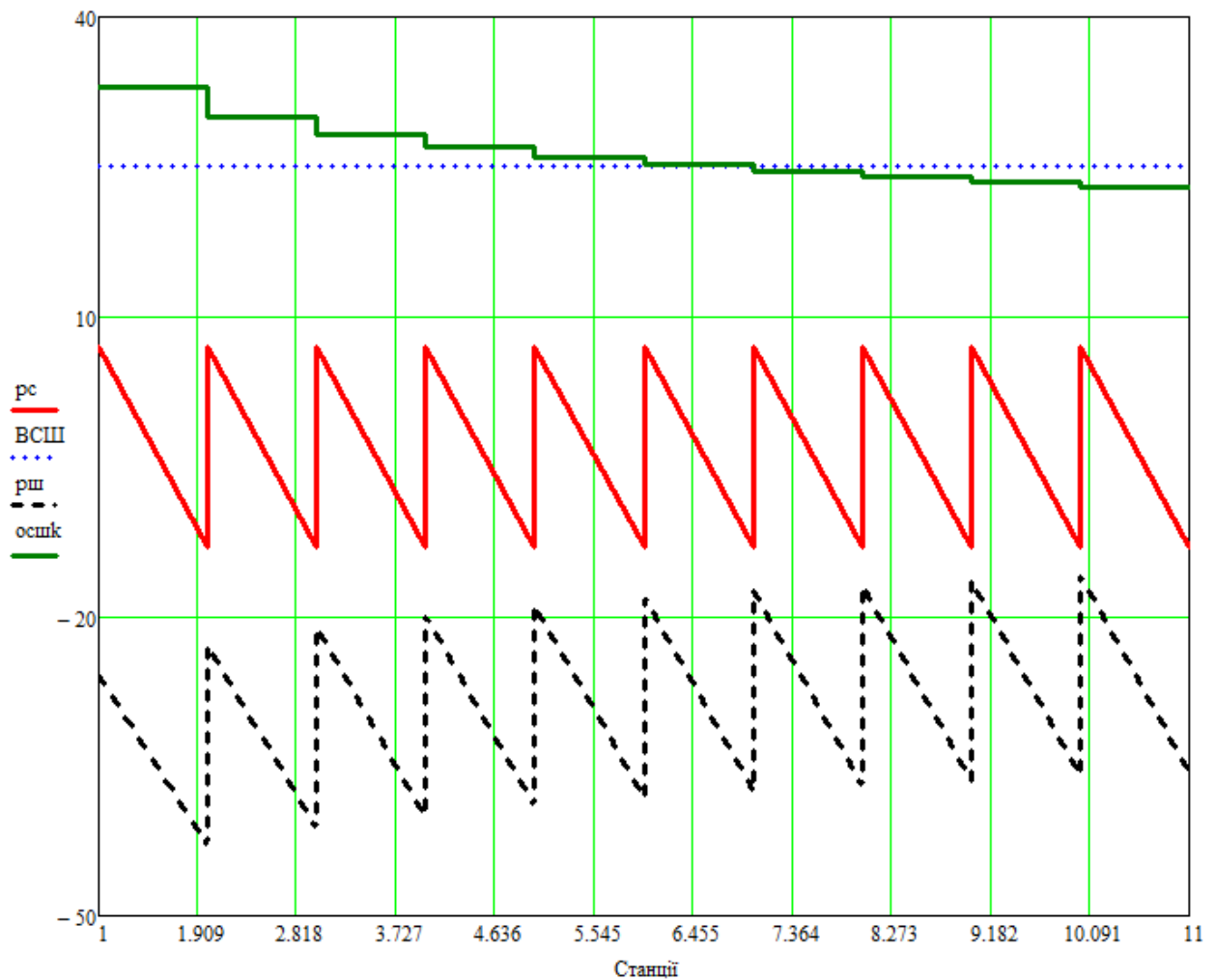


Рис. 3.1. ВСШ ВОЛЗ з декількома оптичними підсилювачами

Другий складається з адреси оптичної лінії, оптичного мультиплексора і ряду регенераторів для кожного каналу. У терміналі використовуються ті ж модулі, що і в більшості інших.

Регенераційна частина носія, включаючи постійно встановлений оптичний мультиплексор, оптичний підсилювач і адресу оптичного шляху.

Довжина ділянки регенерації визначається за формулою:

$$L_{\text{пр}} = 7 \cdot L_y = 7 \cdot 55,16 = 386,12 \text{ км.} \quad (3.8)$$

Розраховані відстані між ділянками де проходить ВОЛЗ не перевищують отриманого значення L_{p2} , то використовувати регенератор не зовсім доцільно, тому будемо використовувати регенератор оптичного сигналу.

3.3 Розрахунок дисперсії оптичного волокна

1) Розрахунок хроматичної дисперсії.

Дисперсія – це фізичне явище розширення імпульсів при передачі по оптичному волокну. Вона має розмірність часу і визначається як квадратична різниця тривалостей імпульсів на виході і вході кабелю довжини L за формулою [9]:

$$\tau(L) = \sqrt{\tau_{\text{ВИХ}}^2 - \tau_{\text{ВХ}}^2}. \quad (3.9)$$

Як правило, на кожні 1 км на поширення оптичного сигналу впливає як колірна, так і поляризаційна дисперсія і вимірюється в пс / нм * км. Колірна дисперсія, в свою чергу, складається з двох частин: матеріалу і хвилеводу. Дисперсія матеріалу обумовлена залежністю вилучення волокна від хвиль. Дисперсія металу обумовлена залежністю стану хвиль. Питома колірна дисперсія розраховується за формулою [8]:

$$\sigma_H = \frac{S_0}{4} \left[\lambda - \frac{\lambda_0^4}{\lambda^3} \right], \quad (3.10)$$

де S_0 – нахил дисперсійної кривої одномодового оптичного волокна на довжині хвилі нульової дисперсії, $S_0 = 0.09 \text{ пс}/(\text{нм}^2 \cdot \text{км})$;

λ – робоча довжина хвилі, $\lambda = 1550 \text{ нм}$;

λ_0 – довжина хвилі нульової дисперсії, $\lambda_0 = 1310 \text{ нм}$.

Розрахунок:

$$\sigma_H = \frac{0,09}{4} \left[1550 - \frac{1310^4}{1550^3} \right] = 17,08 \text{ пс}/\text{нм} \cdot \text{км}$$

Хроматична дисперсія оптичного волокна розраховується за формулою:

$$\tau_{chr} = \sigma_H \cdot \Delta\lambda \cdot L, \quad (3.11)$$

де σ_n – питома хроматична дисперсія;

$\Delta\lambda$ – ширина спектра випромінювання джерела сигналу;

L – довжина ВОЛЗ.

Ширину спектра переданого сигналу можна розрахувати за формулою [7]:

$$\Delta\lambda = \frac{c \cdot \Delta f}{f_n^2}, \quad (3.12)$$

де Δf – ширина смуги спектра переданого сигналу;

f_n – несуча частота, на якій здійснюється передача інформації;

c – швидкість світла.

Розрахунок:

$$\Delta\lambda = \frac{3 \cdot 10^8 \cdot 100 \cdot 10^9}{(193,2 \cdot 10^{12})^2} = 0,804 \text{ нм}$$

Для ширини смуги у 100 ГГц $\Delta\lambda = 0,8 \text{ нм}$.

Тоді хроматична дисперсія волокна буде дорівнює:

$$\tau_{chr-oy1-oy5} = 17,08 \cdot 0,804 \cdot 168 = 2307,0 \text{ нс}$$

$$\tau_{chr-oy1-oy4} = 17,08 \cdot 0,804 \cdot 167 = 2293,3 \text{ нс}$$

$$\tau_{chr-oy1-oy2} = 17,08 \cdot 0,804 \cdot 199 = 2732,7 \text{ нс}$$

$$\tau_{chr-oy5-oy4} = 17,08 \cdot 0,804 \cdot 39 = 535,6 \text{ нс}$$

$$\tau_{chr-oy4-oy3} = 17,08 \cdot 0,804 \cdot 143 = 1963,7 \text{ нс}$$

$$\tau_{chr-oy3-oy2} = 17,08 \cdot 0,804 \cdot 105 = 1441,9 \text{ нс}$$

$$\tau_{chr-oy3-oy6} = 17,08 \cdot 0,804 \cdot 475 = 6522,9 \text{ нс}$$

Допустиме значення колірної дисперсії для оптичного інтерфейсу СНУ - 64 необхідно мінімізувати і тим самим забезпечити технологічні резерви, необхідні для старіння волокон.

Є два найбільш поширених способи впоратися з цим. Перший – це регенерація оптичного сигналу, який створюється шляхом повторного перетворення сигналу в електричну форму відновлення і перетворення його назад в оптичну форму. Для групи сигналів DWDM необхідно демультиплексувати сигнал в окремі канали і встановити окремий регенератор на кожному каналі. Очевидно, що використання регенераторів вигідно тільки в точці прийому переданого сигналу. Використання регенераторів для компенсації дисперсії економічно не вигідно [12].

Методи боротьби з розсіюванням не пов'язані з перетворенням електрики в форму. Для компенсації розсіяного сигналу використовується негативне значення з дисперсією кольору волокна. Типовий модуль дисперсії волокна набагато вище, ніж у стандартного одномодового волокна. Таким чином, для компенсації дисперсії, дуже малої, потрібна довжина волокна по довжині ділянки носія. Компенсація дисперсії здійснюється шляхом вставки в кабель модуля з волокном компенсації дисперсії. Модуль компенсації дисперсії (EX) поставляється з обладнанням. Використання цього методу не вимагає демультиплексування складеного оптичного сигналу. Слід також зазначити, що цей метод боротьби з розсіюванням не накладає ніяких обмежень на швидкість і розмір переданого сигналу [13].

Для компенсації дисперсії кольору використовується волокно з наступними параметрами:

$$S_0 = 0,75 \frac{\text{пс}}{\text{нм}^2 \cdot \text{км}}; \lambda_0 = 1750 \text{ нм}$$

Використовуючи вирази (3.10) та (3.11) знайдемо довжину оптичного волокна, необхідну для компенсації хроматичної дисперсії всієї лінії зв'язку.

$$L_{DCF} = \frac{-\tau_{chr}}{\frac{S_0 \cdot \Delta\lambda}{4} \left[\lambda - \frac{\lambda_0^4}{\lambda^3} \right]}. \quad (3.13)$$

Розрахунок:

$$L_{DCFoy1 - oy5} = \frac{-2307,0}{\frac{0,75 \cdot 0,804}{4} \left[1550 - \frac{1750^4}{1550^3} \right]} = 16,8 \text{ м}$$

$$L_{DCFoy1 - oy4} = 16,7 м$$

$$L_{DCFoy1 - oy2} = 19,9 м$$

$$L_{DCFoy5 - oy4} = 3,9 м$$

$$L_{DCFoy4 - oy3} = 14,3 м$$

$$L_{DCFoy3 - oy2} = 10,5 м$$

$$L_{DCFoy3 - oy6} = 47,5 м$$

Оптимально встановити кілька модулів компенсації, які включені безпосередньо між каскадами оптичного підсилювача плати оптичного інтерфейсу. Це зменшує вплив ослаблення волокон компенсації дисперсії на переданий сигнал. Два модулі DCM можуть бути встановлені в кінцевих точках ВОЛЗ, а інші можуть бути встановлені разом з оптичними підсилювачами.

2) Розрахунок дисперсії поляризаційної моди.

Викликана дисперсія поляризаційної моди (ПМД) неідеальною геометрією волокна, а, отже, режим двох взаємно вертикальних компонент поляризації різної швидкості поширення може бути розрахований за формулою [4]:

$$\tau_{pmd} = T \cdot \sqrt{L}, \quad (3.14)$$

де T – коефіцієнт питомої дисперсії в розрахунку на 1км ($ps/\sqrt{км}$);

L – відстань лінії передачі, км.

ПМД ще має назву диференційно-групової затримки, так як показує різницю в часі проходження двох перпендикулярних складових. Значення питомої дисперсії вибирається безпосередньо в залежності від типу волокна.

Відстань, що обмежується поляризаційною модовою дисперсією, може бути описано наступним виразом [12]:

$$B^2 \cdot T^2 \cdot L < 10^4, \quad (3.15)$$

де B – швидкість передачі інформації, для STM-64 $B = 9953,28\text{Мбіт/с}$ або

$9,9 \text{ Гбіт/с}$; T – коефіцієнт питомої дисперсії в розрахунку на 1 км,
 $T = 0,1 (nc/\sqrt{\kappa M})$. Звідси максимальна відстань передачі [12]:

$$L = \frac{10^4}{B^2 \cdot T^2}. \quad (3.16)$$

Розрахунок:

$$L = \frac{10^4}{9,9^2 \cdot 0,1^2} = 10203 \text{ км}$$

Оскільки відстані між магістраллю та проектованою СКС не перевищують 10203 км, то розрахунок ПМД не потрібен, тому що вона не впливає на проектовану лінію передачі до ділянки зі структурованою кабельною системою будівлі.

3.4. Розстановка підсилювальних пунктів

Для розстановки оптичних підсилювачів необхідно знайти загальну кількість підсилювальних ділянок на шляху до проектованої СКС [15]:

$$N = \frac{L}{L_y}. \quad (3.17)$$

Для двох напрямків передачі сигналу доцільно встановлювати оптичні підсилювачі в одному і тому ж місці і на однаковій відстані, забезпечуючи тим самим однакові параметри переданих оптичних сигналів.

Приклад структурної схеми ВОЛЗ показаний на Рис. 3.2, де безпосередньо показані підсилювачі оптичних мультиплексорів 1 і 5, розташовані в кінцевих точках ВОЛЗ, що прямує до проектованої СКС, а також лінійні оптичні підсилювачі 2-4. Підсилювачі з встановленими модулями компенсації дисперсії (DCM) позначені на рисунку буквою « τ ».

$$N_{oy1-oy5} = \frac{L_{oy1-oy5}}{L_Y} = \frac{168}{55,16} = 3,05 \approx 3$$

$$N_{oy1-oy4} = \frac{167}{55,16} = 3,03 \approx 3$$

$$N_{oy1-oy2} = \frac{199}{55,16} = 3,61 \approx 3$$

$$N_{oy5-oy4} = \frac{39}{55,16} = 0,71 \approx 0$$

$$N_{oy4-oy3} = \frac{143}{55,16} = 2,59 \approx 2$$

$$N_{oy3-oy2} = \frac{105}{55,16} = 1,90 \approx 1$$

$$N_{oy3-oy6} = \frac{475}{55,16} = 8,61 \approx 8$$

Оскільки відстань визначена становить 475 км, що більше довжини регенераційної ділянки, то замість 8-го оптичного підсилювача будемо використовувати регенератор.

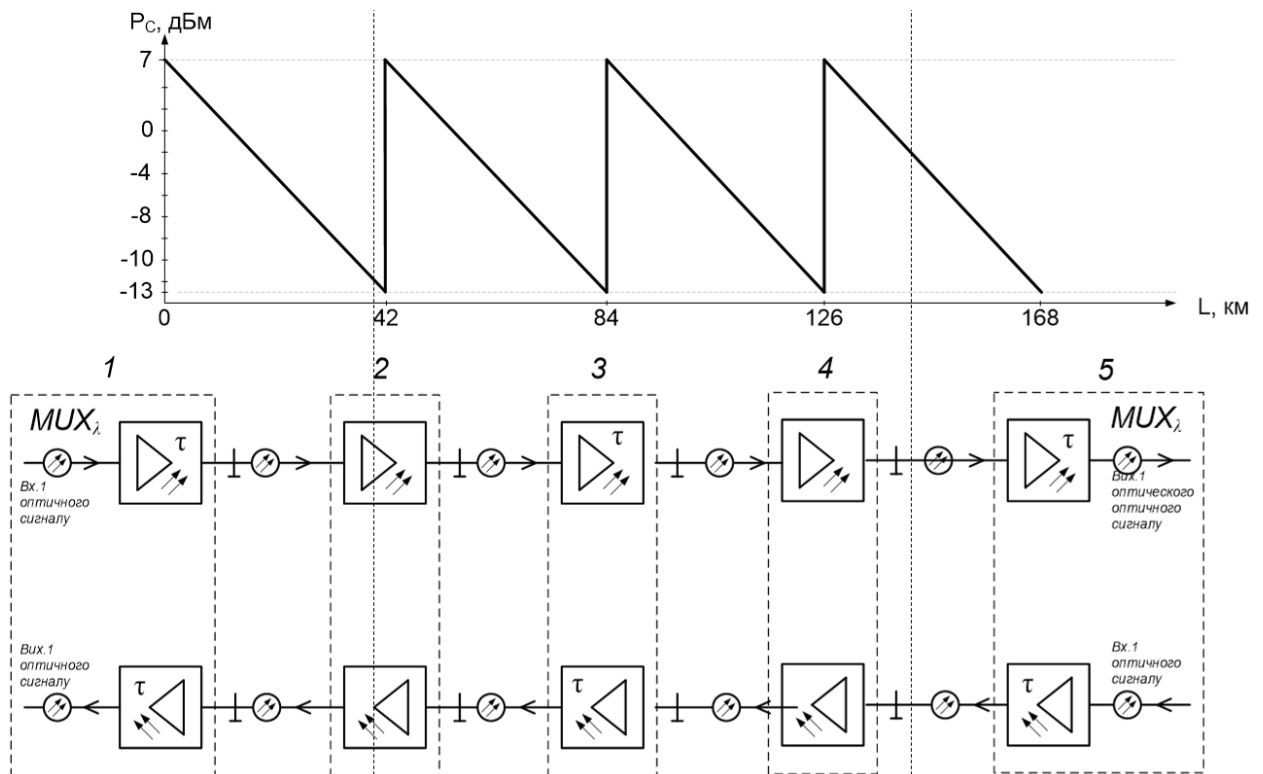


Рис. 3.2. Структурна схема ВОЛЗ для ділянки ОП1-ОП5

ВИСНОВОК ДО РОЗДІЛУ 3

Інфокомунікаційна оптична мережа зв'язку для об'єднання магістральної ділянки та будівлі з проектованою структурованою кабельною системою була розроблена з використанням сучасних технологій-оптичної та традиційної системи синхронізації.

Також був обраний необхідний рівень системи передачі, обраний тип оптичного кабелю, розрахована довжина секцій підсилювача і регенерації, розрахована колірні і поляризаційна дисперсія.

ВИСНОВКИ

В дипломній роботі було розглянуто визначення основних елементів структурованої телекомунікаційної кабельної системи. А також стандарт телекомунікаційного кабелювання комерційних будівель ANSI/TIA/EIA-568-A, якій специфікує універсальну телекомунікаційну кабельну систему, здатну підтримувати до-датки передачі мови і даних, а також середовище, побудовану на основі різних типів і видів активного обладнання, виготовленого різними виробниками.

Розглянуто було сферу дії стандарту. Стандарт EIA/TIA-568 має на меті регламентування загальних правил побудови кабельних систем комерційних будівель. Його створення було обумовлено необхідністю забезпечення підтримки широкого діапазону телекомунікаційних додатків, типів пристроїв і устаткування різних виробників. А також основні групи специфікацій. У TIA/EIA-568 описані шість підсистем телекомунікаційної кабельної інфраструктури.

Розглянуто стандарт ISO/IEC 11801, даний стандарт визначає структуру і мінімальну конфігурацію УКБ, вимоги до конфігурацій, вимоги до робочих параметрів ліній і вимоги на відповідність і процедури перевірки. Структура універсальної кабельної системи та правила побудови системи.

А також стандарт ANSI/TIA-568-C.0: Рекомендації по прокладці оптоволоконних кабелів.

У другому розділі були розглянуті переваги та недоліки оптичних підсилювачів. Оптичні підсилювачі мають ряд переваг перед регенераторами. З одного боку, регенератори специфічні для швидкості передачі даних і формату модуляції, використовуваних системою зв'язку. З іншого боку, оптичні підсилювачі не-чутливі до швидкості передачі бітів або форматів сигналів. Таким чином, систему, що використовує оптичні підсилювачі, можна легше модернізувати, наприклад, до більш високої швидкості передачі даних, не замінюючи підсилювачі.

Також розглянуто сучасні оптичні підсилювачі RAMAN та сучасні напівпровідникові оптичні підсилювачі (SOA).

Інфокомунікаційна оптична мережа зв'язку для об'єднання магістральної ділянки та будівлі з проектованою структурованою кабельною системою була розроблена з використанням сучасних технологій-оптичної та традиційної системи синхронізації.

Також був обраний необхідний рівень системи передачі, обраний тип оптичного кабелю, розрахована довжина секцій підсилювача і регенерації, розрахована колірنا і поляризаційна дисперсія.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. W. F. Brinkman, T. L. Koch, D. V. Lang, and D. W. Wilt. The lasers behind the communications revolution. *Bell Labs Technical Journal*, 5(1):150–167, Jan.–Mar. 2020.
2. P. C. Becker, N. A. Olsson, and J. R. Simpson. *Erbium-Doped Fiber Amplifiers: Fundamentals and Technology*. Academic Press, San Diego, CA, 2019.
3. M. Born and E. Wolf. *Principles of Optics: Electromagnetic Theory of Propagation, Diffraction and Interference of Light*. Cambridge University Press, Cambridge, 2019.
4. C. J. Chang-Hasnain. Tunable VCSEL. *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics*, 6(6):978–987, Nov./Dec. 2020.
5. K.-W. Cheung. Acoustooptic tunable filters in narrowband WDM networks: System issues and network applications. *IEEE Journal of Selected Areas in Communications*, 8(6):1015–1025, Aug. 2010.
6. D. Chiaroni et al. New 10 Gb/s 3R NRZ optical regenerative interface based on semiconductor optical amplifiers for all-optical networks. In *Proceedings of European Conference on Optical Communication*, pages 41–43, 2017.
7. R. J. Campbell and R. Kashyap. The properties and applications of photosensitive germanosilicate fibre. *International Journal of Optoelectronics*, 9(1):33–57, 2014.
8. B. Clesca et al. Gain flatness comparison between erbium-doped fluoride and silica fiber amplifiers with wavelength-multiplexed signals. *IEEE Photonics Technology Letters*, 6(4):509–512, Apr. 2014.
9. L. A. Coldren. Monolithic tunable diode lasers. *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics*, 6(6):988–999, Nov.–Dec. 2015.
10. E. Desurvire. *Erbium-Doped Fiber Amplifiers: Principles and Applications*. John Wiley, New York, 2014.

11. Виноградов В.В. Волоконно-оптические линии связи /В.В. Виноградов, В.К. Котов, В.Н. Нуприк //Учебное пособие. – М.: ИПК «Желдориздат», 2012. – 278с.
12. Кириллов В.И. Многоканальные системы передачи /В.И. Кириллов //Учебник для ВУЗов – М.: Новое знание, 2012. – 751с.
13. Ракк М.А. Измерения в технике связи /М.А. Ракк //Учебник. – М.: ГОУ, 2018. – 312с
14. Фриман Р. Волоконно-оптические системы связи /Р. Фриман //Пер. с англ. Изд. 4, доп. (Мир связи) – М.: Техносфера, 2017. – 512с.
15. Гордиенко В.Н. Многоканальные телекоммуникационные системы /В.Н. Гордиенко, М.С. Тверецкий //Учебник для вузов. – М.: Горячая линия-Телеком, 2017. – 416с
16. <https://www.iso.org/ru/standard/66182.html>
17. http://www.tiaonline.org/standards/search_n_order.cfm
18. <https://www.hubbell.com/hubbellpremisewiring/en>