

Вінницький національний технічний університет
Факультет інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем
Кафедра телекомунікаційних систем та телебачення

Пояснювальна записка

до магістерської кваліфікаційної роботи
за освітньо-кваліфікаційним рівнем «магістр»

на тему:

СИСТЕМА ШИРОКОСМУГОВОГО ДОСТУПУ НА ОСНОВІ
ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИХ ЛІНІЙ ЗВ'ЯЗКУ
08-34.МКР.009.00.000 ПЗ

Виконав: студент 2-го курсу,
групи ТТК-18м
спеціальності 172 – Телекомунікації та
радіотехніка

_____ Свіргун І.М.

Керівник: к.т.н., проф. каф. ТКСТБ

_____ Барась С.Т.

« ____ » _____ 2019 р.

Рецензент: к.ф.м.н., проф. каф. ЕНС

_____ Кравченко Ю.С.

« ____ » _____ 2019 р.

Вінницький національний технічний університет
Факультет інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем
Кафедра телекомунікаційних систем і телебачення

Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр
Галузь знань 17– Електроніка та телекомунікації
(шифр і назва)
Спеціальність 172 – Телекомунікації та радіотехніка
(шифр і назва)
Освітня програма Технології та засоби телекомунікацій

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ТКСТБ
к.т.н., професор Г.Г. Бортник

“ ” _____ 2019 року

З А В Д А Н Н Я НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Свіргуну Ігорю Миколайовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Система ширококутового доступу на основі волоконно-оптичних ліній зв'язку

керівник роботи Барась Святослав Тадіонович, канд. техн. наук., професор.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “02” 10 2019 року № 254

2. Строк подання студентом роботи 02 грудня 2019 року

3. Вихідні дані до роботи:

Швидкість передачі інформації $V=10$ Гбіт/с; Робочі довжини хвиль 1310 нм, 1550 нм, 1490 нм; Корекція помилок FEC для збільшення числа вузлів, підключених до одного фідерного волокна; Рівень помилок BER - 10^{-12} ; Відстань до 20 км; модуляції по інтенсивності, частотна, фазова, поляризаційна.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Огляд та порівняння систем ширококутового доступу на основі ВОЛЗ. 2. Модуляції оптичного променя в волоконно-оптичних системах передачі. 3. Обладнання волоконно-оптичних систем передачі. 4. Комп'ютерне моделювання. 5. Економічна частина. 6. Охорона праці.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Топології побудови мережі PON; Структурні схеми демодуляторів оптичних сигналів; Структурна схема когерентної ВОСП; Структурна схема електронно-оптичного повторювача; Результати моделювання.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	Барась С.Т., професор кафедри ТКСТБ		
Економічна частина	Адлер О.О, доцент кафедри ЕПВМ		
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Березюк О.В., доцент кафедри БЖДПБ		

7. Дата видачі завдання 2 вересня 2019 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Розробка технічного завдання	12.09.2019 р.	
2	Огляд та порівняння систем широкосмугового доступу на основі ВОЛЗ	12.10.2019 р.	
3	Дослідження параметрів і характеристик модуляцій оптичного сигналу	20.10.2019 р.	
4	Дослідження сучасних методів та засобів передачі та обробки оптичних сигналів	03.11.2019 р.	
5	Моделювання пристроїв передачі оптичного сигналу	10.11.2019р.	
6	Аналіз економічної ефективності розробки	14.11.2019 р.	
7	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	20.11.2019 р.	
8	Оформлення пояснювальної записки та графічної частини	25.11.2019 р.	
9	Нормоконтроль МКР	30.11.2019 р.	
10	Попередній захист МКР, рецензування МКР	06.12.2019 р.	
11	Захист МКР ЕК	12.12.2019 р.	

Студент _____
(підпис)

Свіргун І.М.

Керівник роботи _____
(підпис)

Барась С.Т.

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

АОМ – Акустооптичний модулятор.
ВОЛЗ – Волоконно-оптична лінія зв'язку.
ВОСП – Волоконно-оптична система передачі.
ВС – Волоконний світловод.
ГДК – Гранично допустима концентрація.
ЕОМ – Електронна обчислювальна машина.
ІМЦ – Інтерферометр Маха-Цендера.
КПО – Коефіцієнт природного освітлення.
КТЧ – Канал тональної частоти.
ЛД – Лазерний діод.
ЛКП – Лінійна кодова комбінація.
МІ – Модуляція по інтенсивності.
ОЦК – Основний цифровий канал.
ПК – П'єзокристал.
ПМ – Поляризаційна модуляція.
ТБ – Телебачення.
УЗ – Ультразвук.
ФМ – Фазова модуляція.
ЧМ – Частотна модуляція.
AON – All optical network.
ATM – Asynchronous transfer mode.
CO – Central office.
EDFA – Erbium doped fiber amplifier.
FDDI – Fiber distributed data interface.
FTTB - Fiber to the building.
FTTC - Fiber to the curb.
FTTH – Ethernet to the home.
FSAN – Full Service Access Network.
HDSL – High-bit-rate digital subscriber line.
IEEE – Institute of Electrical and Electronics Engineers.
LACP – Link aggregation control protocol.
MAN – Metropolitan Area Network
OAM – Operations administration and maintenance.
OLT – Optical line terminal.
ONT – Optical network terminal.
ONU – Optical network unit.
PON – Passive optical network.
SDH – Synchronous digital hierarchy.
TDM – Time division multiplexing.
TLV – Type-length-value.
VLAN – Virtual Local Area Network.
WAN – Wide area network.
WDM – Wavelength division multiplexing.

РЕФЕРАТ

Система широкопasmового доступу на основi волоконно-оптичних лiнiй зв'язку. Магiстерська квалiфiкацiйна робота / I.M. Свiргун – ВНТУ, 2019р.– 140 с., 67 рис., - українською мовою.

Ключовi слова: широкопasmовий доступ, волоконно-оптичнi лiнiї, модуляцiя, обладнання.

Проведено огляд та порiвняння систем широкопasmового доступу на основi використання волоконно-оптичних лiнiй зв'язку. Проаналiзовано основнi переваги та недолiки активних та пасивних систем широкопasmового доступу. Проаналiзовано основнi способи модуляцiї в волоконно-оптичних системах передачi та розглянуто основнi пристрої, якi використовуються в таких системах. За допомогою програмного пакета GainMaster™ здiйснено комп'ютерне моделювання роботи дiлянки волоконно-оптичної лiнiї зв'язку, на якiй вiдбувається вiдбувається передача та обробка оптичного сигналу.

ABSTRACT

Broadband access based on fiber optic communication lines. Master's qualification work / I.M. Svirgun - VNTU, 2019 - 140 pp., 67 Fig. - in Ukrainian.

Keywords: broadband access, fiber optic lines, modulation, equipment.

Broadband access systems are reviewed and compared using fiber optic links. The main advantages and disadvantages of active and passive broadband access systems are analyzed. The basic modulation methods in fiber optic transmission systems are analyzed and the basic devices used in such systems are considered. GainMaster™ software computer simulated the operation of the fiber optic link section on which the optical signal transmission and processing takes place.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 ОГЛЯД ТА ПОРІВНЯННЯ СИСТЕМ ШИРОКОСМУГОВОГО ДОСТУПУ НА ОСНОВІ ВОЛЗ	9
1.1 Повністю оптичні мережі (AON)	9
1.2 Пасивні оптичні мережі (PON).....	12
1.3 Порівняльний аналіз AON та PON.....	18
1.4 Основні топології оптичних мереж доступу	20
1.5 Тестування PON мережі	22
Висновки	26
2 МОДУЛЯЦІЯ ОПТИЧНОГО ПРОМЕНЯ У ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИХ СИСТЕМАХ ПЕРЕДАЧІ.....	27
2.1 Види модуляції світла.....	27
2.2 Методи модуляції оптичної носійної.....	28
2.2.1 Безпосередня модуляція оптичної носійної.....	28
2.2.2 Модуляція з використанням проміжної носійної.....	31
2.3 Типи оптичних модуляторів	32
2.3.1 Акустооптичні модулятори.....	32
2.3.2 Електрооптичні модулятори	34
2.4 Демодуляція.....	40
Висновки	43
3 ОБЛАДНАННЯ ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧІ.....	44
3.1 Пристрої введення та виведення	44
3.2 Оптичні з'єднувачі	44
3.3 Оптичні розгалужувачі	46
3.4 Оптичні атенюатори та ізолятори	49
3.5 Мультиплектори.....	51
3.6 Ретранслятори.....	57
3.7 Оптичні комутатори.....	62
3.8 Хвильові конвертери.....	64

Висновки	66
4 КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ	67
4.1 Опис програмного пакету для моделювання	67
4.2 Результати комп'ютерного моделювання.....	68
Висновки	80
5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	81
5.1 Визначення рівня комерційного потенціалу розробки системи широкосмугового доступу на основі волоконно-оптичних ліній зв'язку.....	81
5.2 Визначення рівня якості розробки системи широкосмугового доступу на основі волоконно-оптичних ліній зв'язку.....	83
5.3 Визначення конкурентоспроможності розробки.....	86
5.4 Прогнозування витрат на виконання роботи	87
5.5 Прогнозування комерційних ефектів від реалізації системи широкосмугового доступу на основі волоконно-оптичних ліній зв'язку.....	93
5.6 Розрахунок ефективності вкладених інвестицій та період їх окупності....	95
6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	97
6.1 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії.....	97
6.1.1 Мікроклімат та склад повітря робочої зони.....	97
6.1.2 Виробниче освітлення	98
6.1.3 Виробничі віброакустичні коливання.....	99
6.1.4 Виробничі випромінювання	100
6.2 Технічні рішення з безпеки під час проведення дослідження	102
6.2.1 Безпека щодо організації робочих місць	102
6.2.2 Електробезпека.....	102
6.2.3 Пожежна безпека.....	103
6.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях	103
Висновки	108
ВИСНОВКИ.....	109
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	110
ДОДАТКИ	113

Додаток А (обов'язковий) Технічне завдання	114
ДОДАТОК Б Можливі топології побудови мережі PON	121
ДОДАТОК В Структурні схеми демодуляції оптичних сигналів	123
ДОДАТОК Г Структурна схема когерентної ВОСП	125
ДОДАТОК Д Схема п'ятиканального демультимплектора	127
ДОДАТОК Е Структурна схема електронно-оптичного повторювача	129
ДОДАТОК Ж Структурна схема оптичного підсилювача на домішковому волокні	131
ДОДАТОК З Результати моделювання	133
ДОДАТОК Е Нормовані значення виробничих факторів	137

ВНТУ ФІРЕН
ТКСТЬ МКР 2019

ВСТУП

Актуальність теми. Збільшення швидкості і об'єму передачі інформації в високопродуктивних інтелектуальних мережах вимагає розробки відповідних технічних засобів, серед яких оптика і оптичні методи передачі інформації грають важливу роль.

При цьому знайшли широке застосування різні оптичні системи передачі з волоконно-оптичними і атмосферними лініями зв'язку. Їх впровадження визначено високою завадостійкістю, широкою смугою пропускання оптичних каналів, великими відстанями передачі, відносно низькою вартістю каналів та іншими факторами.

Актуальність теми магістерської кваліфікаційної роботи полягає в тому, що в наш час системи широкопasmового доступу на базі ВОЛЗ являються одним із основних способів передачі інформації та доступу до мережі Internet. В порівнянні з кабельними, мікрохвильовими системами зв'язку і радіозв'язком, оптоволоконні системи мають багато переваг, зокрема, вони менш схильні до завад, забезпечують електроізоляцію, підтримують дуже високі швидкості передачі і передають дані на дуже великі відстані [1].

Аналіз останніх досліджень. Останні дослідження стосуються питань освоєння нових вікон прозорості в оптичних волокнах, розробки та модернізації відповідного обладнання, та шляхів покращення параметрів і характеристик кабельних з'єднань з метою досягнення стабільного трафіку [2-5].

Мета та постановка задачі. Метою даної кваліфікаційної роботи є оптимізація вибору параметрів оптичних розгалужувачів для локальної мережі широкопasmового доступу з урахуванням максимально можливої швидкості передачі інформації та топології оптичної мережі.

Задачами магістерської кваліфікаційної роботи є:

- огляд та порівняння систем широкопasmового доступу на основі волоконно-оптичної лінії зв'язку;

- аналіз основних методів модуляції у волоконно-оптичних системах передачі;
- розробка системи широкосмугового доступу;
- аналіз параметрів та характеристик пристроїв ВОСП;
- комп'ютерне моделювання.

Об'єктом дослідження є система широкосмугового доступу на основі волоконно-оптичної лінії зв'язку.

Предмет дослідження є швидкість та дальність передачі інформаційного сигналу з аналізом факторів, що їх обмежують.

Методи досліджень базуються на використанні теорії електричного та оптичного зв'язку, основоположних принципів передачі інформації для визначення досяжних швидкостей передачі, а також теорії планування експерименту і комп'ютерного моделювання для перевірки отриманих результатів.

Наукова новизна одержаних результатів. В результаті виконання даної кваліфікаційної роботи було вперше визначено обмеження в топології локальної оптичної мережі для досягнення максимальних швидкості та дальності передачі інформаційного сигналу. Також сформульовані рекомендації щодо параметрів і характеристик оптичних розгалужувачів для побудови локальної інформаційної мережі.

Практичне значення. Практичне значення роботи полягає у визначенні умов для отримання якісної інформації при найбільших значеннях швидкості у локальній оптичній мережі.

Крім того, результати роботи можна використовувати в навчальному процесі в дисциплінах «Сигнали та широкосмугові технології в телекомунікаціях» та «Системи доступу».

Апробація результатів роботи. Основні ідеї роботи доповідались і обговорювались на I Міжнародній науково-технічній конференції "Сучасні проблеми інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем" і на науковій конференції ВНТУ у 2019 році.

1 ОГЛЯД ТА ПОРІВНЯННЯ СИСТЕМ ШИРОКОСМУГОВОГО ДОСТУПУ НА ОСНОВІ ВОЛЗ

1.1 Повністю оптичні мережі (AON)

На сучасному етапі розвитку інформаційних мереж розповсюджені дві найбільш поширені архітектури інформаційних мереж на основі ВОЛЗ: AON (All Optical Network – повністю оптичні мережі, які передбачають передачу оптичних сигналів без перетворення їх в електричну форму), PON (Passive Optical Network – пасивні оптичні мережі) [4].

По мірі зростання обсягу переданої інформації в мережі рано чи пізно виникає завдання збільшення ємності мережі. Менш трудомістке нарощування волоконно-оптичних мереж відбувається або за допомогою заміни комутаторів в центральних вузлах на більш потужні електронні пристрої, розраховані на швидкість передачі по волокну до 1 Гбіт/с, 2,5 Гбіт/с або до 10 Гбіт/с і мають різні варіації механізму пакетної комутації ATM/SDH, Gigabit Ethernet і т.д., або за допомогою залучення раніше не використовуваних резервних "темних" волокон в прокладених ВОК. Інший шлях - залучення оптичних технологій і побудова магістралей на основі технологій повністю оптичних мереж AON, що робить можливим значне підвищення економічності, гнучкості і надійності мереж, і, найголовніше - значно збільшити пропускну спроможність, не переобладнуючи існуючі кабельні системи [4].

Всі AON можна розділити на три основні категорії [5]: мережі, що використовують багатохвильові (мультиплексні) лінії зв'язку, мережі з комутацією каналів і мережі з комутацією пакетів.

Перші дві категорії AON мають одну важливу характеристику - прозорість мережі по відношенню до додатку, що використовується. Головним фактором прозорості AON виступає гнучкість по відношенню до використовуваних кінцевими вузлами додатків (ATM, FDDI, і т.д.) [4]. Оптична прозорість (передача оптичного сигналу у форматі додатка - код, частота модуляції) досягається за допомогою

одного з оптичних WDM каналів від вузла-джерела до вузла-призначення без використання оптоелектронних пристроїв перетворення сигналу. Сигнальний формат в межах кожного WDM каналу може бути віртуально довільним, забезпечуючи економічність і гігантський потенціал нарощування. Крім чисто пасивних компонентів (мультиплексорів, демультиплексорів, відгалужувачів), прозорі AON можуть містити активні елементи, такі як, конфігуруємі хвильові маршрутизатори, хвильові конвертери, оптичні комутатори. Навіть якщо управління цими пристроями електронне, весь шлях поширення самого сигналу залишається оптичним. Електронний контроль вимагає меншої смуги (допустимо виділення спеціального окремого каналу під управління) і використовується, головним чином, для реконфігурації вузлів мережі, WDM каналів, зміни структури потоків, задовольняючи різним вимогам користувачів [6].

Оптичне термінальне обладнання в прозорій AON в найбільш загальному випадку представляють: перестроювані лазерні передавачі (tunable-laser transmitters) та / або перестроювані поворотні фільтри (tunable filters або heterodynes). Два кінцевих вузла мережі можуть встановити канал зв'язку через таку мережу за допомогою настройки на певні дві хвилі (для прийому і передачі), які їм надає мережевий контролер оптичного терміналу, обробивши відповідний попередній запит. Після встановлення з'єднання магістральний канал стає прозорим по відношенню до використовуваного додатком [5].

Допускається більш цікава можливість, коли будь-яка група користувачів може отримати відповідний набір довжин хвиль від прозорої AON та організувати свою власну віртуальну мережу. Кожен користувач в цій мережі здатний відкрити одночасно кілька сесій. Таким чином, прозора AON потенційно володіє дуже багатими можливостями об'єднання користувачів на локальному або глобальному масштабах відстаней [5].

Проста багатохвильова лінія зв'язку представляє найпростіший спосіб організації архітектури AON (для простоти вказано тільки один напрямок передачі даних, рисунок 1.1). Такий канал зв'язку дозволяє організувати безліч з'єднань "точка-точка" між однотипними вузлами, які спілкуються на цілком

певних, призначених виключно для них, довжинах хвиль. Перевагами даної мережі є: велика смуга пропускання, відведена на кожну пару взаємодіючих між собою користувачів; висока надійність зв'язку внаслідок гарантованої смуги пропускання (під кожен канал відводиться окрема довжина хвилі); прозорість кожного каналу мережі по відношенню до вибору мережевого додатка (ATM, Gigabit Ethernet, SDH / PDH і т.д.) між кінцевими вузлами. Недоліком є наявність жорстко зафіксованих з'єднань по каналах [6].

В даний час в мережах кабельного телебачення отримали велике поширення симплексні багатохвильові лінії зв'язку, в яких передача ведеться тільки в одному напрямку [7].



Рисунок 1.1 – Проста багатохвильова лінія зв'язку

Розглянуті в попередньому параграфі повністю оптичні мережі з комутацією каналів дозволяють будувати оптичні магістралі, прозорі до використання будь-яких додатків з боку кінцевих мережевих вузлів. Але поряд з цією перевагою, відзначається і один їх недолік - мережі з комутацією каналів не можуть працювати з "вибуховим графіком" від локальних мереж передачі даних. У цьому зв'язку впровадження повністю оптичних мереж з комутацією пакетів було б ідеальним, оскільки вони дозволяють значно ефективніше використовувати відведену смугу пропускання волоконно-оптичних каналів зв'язку [8].

Особливості AON з комутацією пакетів - комутація пакетів в AON представляє абсолютно новий напрямок розвитку мереж. Це означає, що повинні бути розроблені зовсім нові схеми маршрутизації, нові архітектури, орієнтовані

на технологію AON. - Усі схеми маршрутизації оптичних потоків повинні бути однакові для всієї AON з комутацією пакетів. Ця вимога для мереж з комутацією каналів була більш м'якою і обмежувалася, в основному, тільки наявністю єдиного частотного плану. - У технологіях повністю оптичних мереж однією з найскладніших завдань вважається створення оптичних буферів. Тому перевага буде віддаватися оптичним пакетним коммутаторам, що використовують технологію комутації без буферизації (cut through). - Нові архітектури повинні враховувати специфічні особливості кожного оптичного домену, щоб вигідно використовувати їх для спрощення конструкції [4].

1.2 Пасивні оптичні мережі (PON)

Пасивні оптичні мережі призначені для організації оптичних мереж за схемою точка-мультиточка без будь-яких активних елементів між відправником та одержувачем. Тут можуть використовуватися тільки оптичні змішувачі та розгалужувачі [10].

Основні характеристики стандарту IEEE 802.3ah [10]:

- Швидкість передачі 1 Гбіт/с;
- Кодування в лінії 8B/10B;

WDM мультиплексування з частотним планом [11]:

- Довжина хвилі прямого потоку 1490 нм (1550 нм - кабельне ТБ) (downstream);
- Довжина хвилі зворотного потоку 1310 нм (upstream);
- Рівень помилок BER - 10^{-12} ;
- Можливе використання корекції помилок FEC для збільшення числа вузлів, підключених до одного фідерного волокна.

Інтерфейси для мережі PON [10]:

- Клас 1 - 1000BASE-PX10-D з боку OLT (Optical Line Terminal) і 1000BASE-PX10-U з боку ONT (Optical Network Terminal);
- Клас 2 - 1000BASE-PX20-D з боку OLT і 1000BASE-PX20-U з боку ONT;

- EPON класу 1 - прямий / зворотний потік 21/23 дБ (Ethernet PON);
- EPON класу 2 - прямий / зворотний потік 26/26 дБ;

Радіус мережі (максимальна допустима відстань від OLT до ONT) [10]:

- EPON класу 1 - 10 км;
- EPON класу 2 - 20 км;

Починаючи зі стандарту Fast Ethernet (100BASE-FX / TX), коли прийом сигналу на фізичному рівні став синхронним (на відміну від Ethernet 10 Мбіт / с), застарілими стали міжкадровий інтервал (12 байтів) і велика преамбула кадру (8 байтів) [12].

PON являє собою архітектуру оптичного доступу, яка полегшує широкопasmові комунікації (голос, дані та відео) між оптичним терміналом OLT (Optical Line Terminal) і різними віддаленими оптичними мережевими пристроями ONU (Optical Network Units) в межах пасивної оптичної мережі. За визначенням, PON не містить в собі активних пристроїв з оптико-електричним перетворенням сигналів. Замість цього, системи PON використовують для передачі даних пасивні оптоволоконні змішувачі або розгалужувачі. Навпаки, активні оптичні мережі AON (Active Optical Network), такі як Sonet / SDH, вимагають перетворення оптичного сигналу в електричний і навпаки в кожному з вузлів. PON може об'єднувати трафік від 32 ONU і передавати його центральному модулю CO (Central Office), використовуючи архітектуру типу дерева, шини або кільця [12].

Подібно SONET/SDH, PON працює на першому рівні транспортної технології (L1). До теперішнього часу, в більшості оптоволоконних системах використовувалися стандарти SONET/SDH. Ці, як правило, кільцеві структури припускають регенерацію сигналу в кожному вузлі. Вони оптимізовані для передачі даних на великі відстані в міських і регіональних мережах, але це не кращий вибір для мереж локального доступу [13].

PON пропонує економне рішення - "оптичне збирне кільце" для міських протяжних інфраструктур SONET/SDH. PON забезпечує низькі початкові витрати, так як оптичний сигнал передається до самого входу клієнта (subscriber). Число ONU може збільшуватися в міру необхідності, тоді як активні мережі

вимагають інсталяції всіх вузлів, так як вони виконують функції регенераторів сигналів [13].

Щоб ще більше скоротити витрати, можна додати мультиплексування по довжині хвилі (WDM). Адже вузли PON не є вузлами опорної мережі. При використанні ж WDM в кільці SONET/SDH, мультиплексування/демультиплексування необхідно, щоб обійти кожен з вузлів [13].

На відміну від SONET/SDH, PON може бути і асиметричним. Наприклад, PON може ширококомовно розсилати потік OC-12 [622 Мбіт/с] адресатам і приймати на вхід потік OC-3 [155 Мбіт/с]. Асиметрична локальна схема дозволяє застосовувати дешеві ONU, які використовують менш дорогі трансивери. Мережі SONET/SDH, однак, є симетричними. Таким чином, в кільці OC-12 SONET/SDH, всі каналні карти повинні мати інтерфейс OC-12 [13].

Для локальних додатків PON може бути більш стійким до помилок, ніж SONET / SDH. Вузол PON не є вузлом мережі, тому відключення живлення не вплине на інші вузли. Це не так у випадку SONET / SDH, де кожен вузол виконує регенерацію сигналу. Допустимість відключення вузла від живлення без втрати мережної зв'язності є вкрай важливим, так як телефонні компанії не можуть гарантувати резервного живлення для всіх віддалених терміналів [10].

На рисунку 1.2 наведено співставлення мереж Sonet и PON.

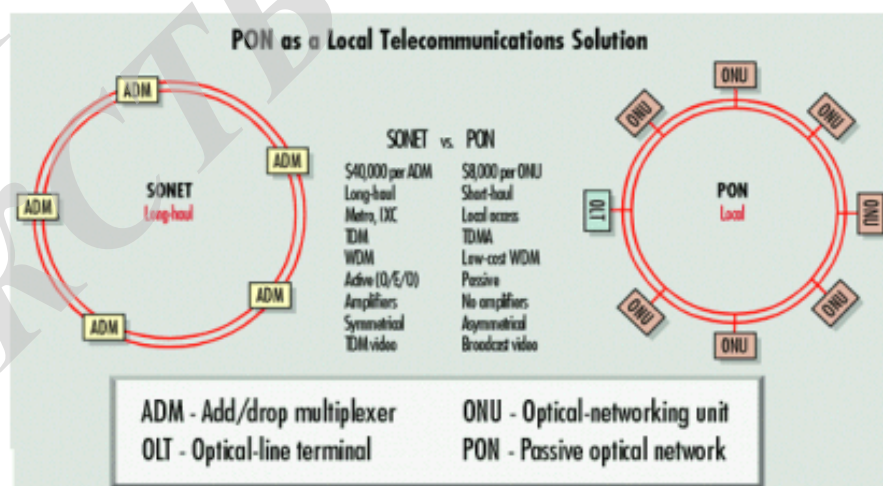


Рисунок 1.2 - Співставлення мереж Sonet и PON [4]

Архітектура PON використовує TMD-мультиплексування в області між ONU (Optical Network Unit) і OLT (Optical Line Terminal) [13].

На рис. 1.3 показані формати пакетів мережі PON [12]. Практично вони є стандартними пакетами Ethernet зі специфічною мультикаст-адресою місця призначення і кодом Ethertype.

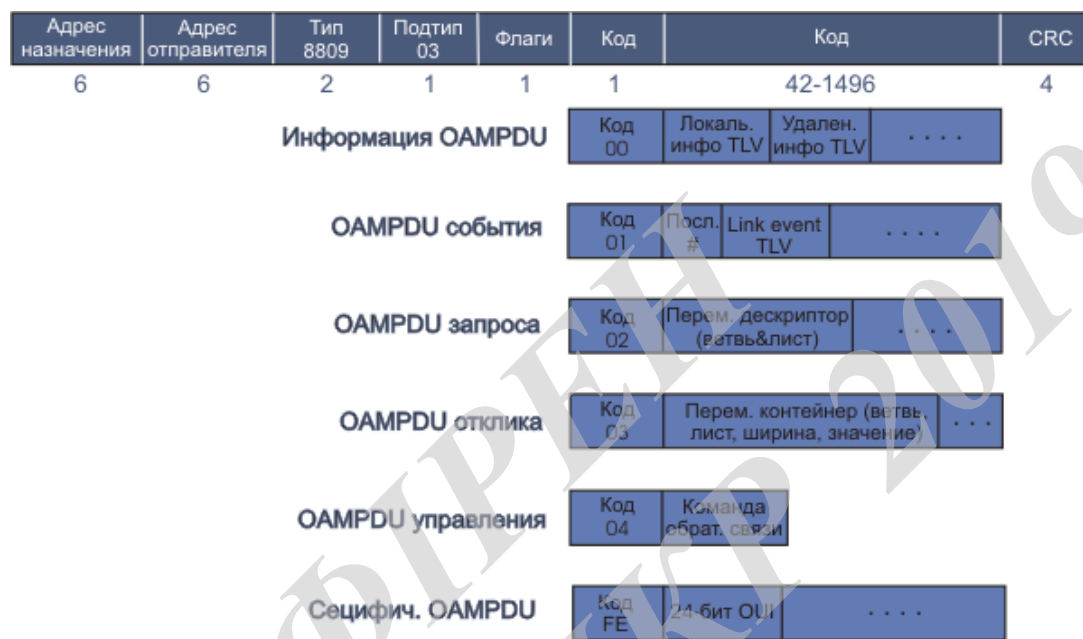


Рисунок 1.3 - Формат пакетів PON

Коди мультикаст-адреси призначення (0180C20002) і EtherType визначають, що це кадр повільного протоколу. Стандарт 802.3 визначає кілька повільних протоколів; одним з них є LACP (Link Aggregation Control Protocol) [10]. Протоколи задаються кодом підтипу протоколу, значення 3 виділено для OAM (Operations Administration and Maintenance). Використання протокольної MAC-адреси гарантує коректну інтерпретацію OAMPDU (PDU - поля даних) підрівнем MAC. Велика частина інформації OAMPDU передається у форматі TLV (type-length-value). Перший октет (або байт) вказує на тип даних. Цей код в програмах позначається змінною і визначає в клієнті OAM те, як слід декодувати дані. Наступний октет містить довжину інформації. Цей код зазвичай використовується, щоб обійти масив даних, коли тип цієї інформації не може бути інтерпретований клієнтом OAM. Наступні октети представляють власне інформацію [12].

На рисунку 1.4 наведено більш детальний опис полів кадрів.

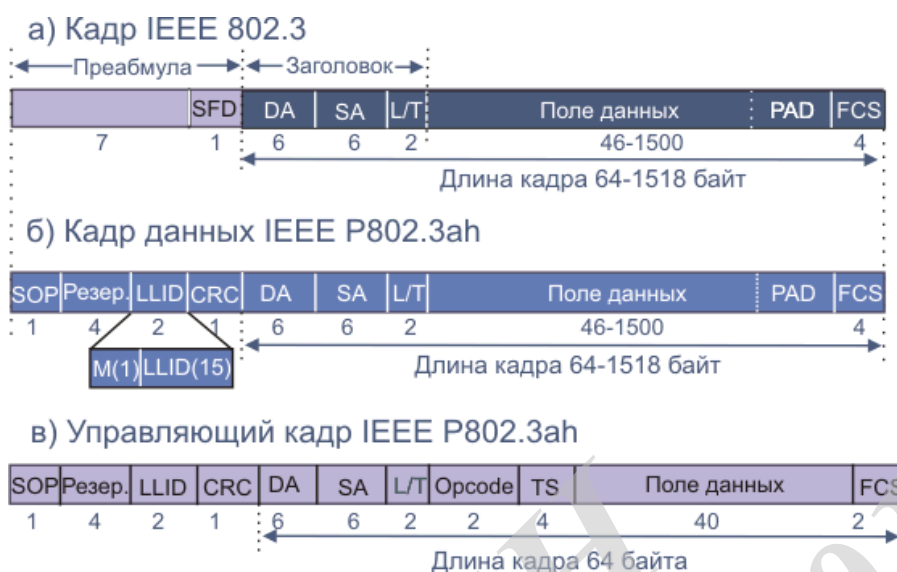


Рисунок 1.4 - Більш детальний опис полів кадрів

Об'єднувачі тільки з одним входом називаються розгалужувачами (splitter), з одним виходом - змішувачами (combiner). Різні можливі топології побудови мережі представлені на рисунку 1.5 [10].

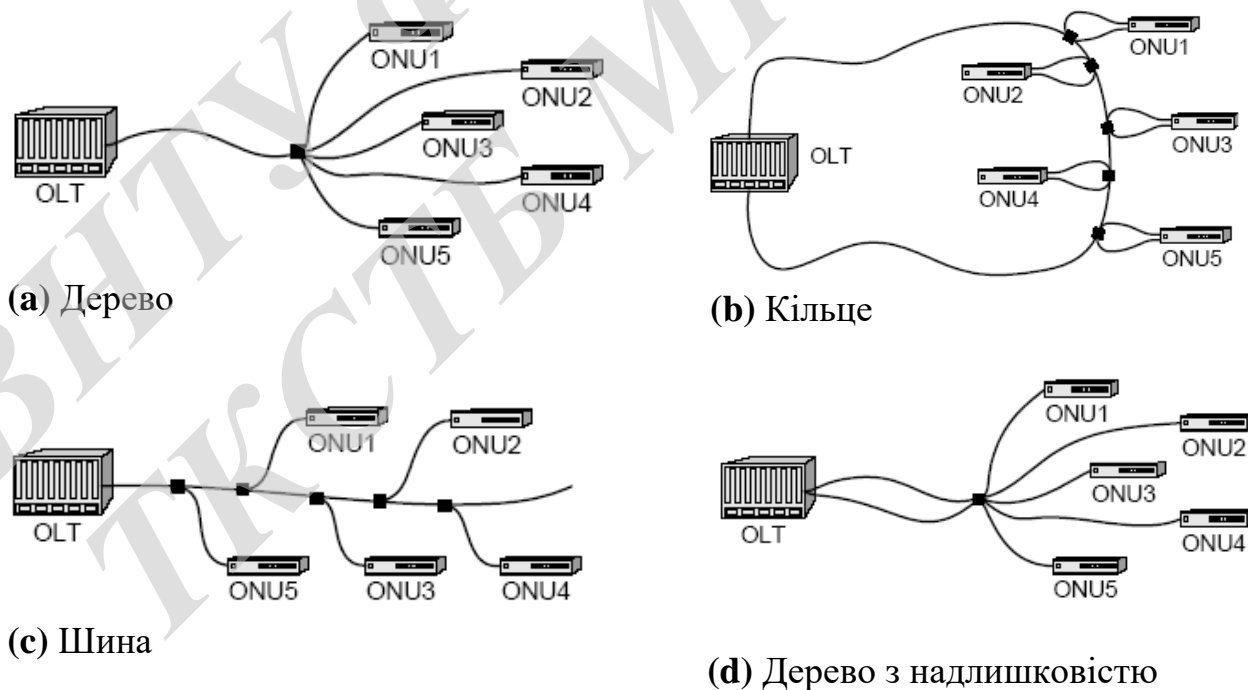


Рисунок 1.5 – Можливі топології побудови мережі PON

Всі передачі в PON здійснюються між OLT (Optical Line Terminal) і ONU (Optical Network Unit). OLT розміщується в CO і з'єднує оптичну мережу доступу з міською регіональною мережею (MAN) або з WAN (Інтернет). ONU розміщується або на стороні користувача (FTTH - Fiber To The Home і FTTB - Fiber to The Building), або в зоні розгалуження (архітектура FTTC - Fiber To The Curb) [2].

До переваг мереж PON можна віднести [2]:

- PON допускає роботу при відстані між CO і клієнтом (аж до 20 км).
- PON мінімізує довжини оптичних волокон.
- PON надає широку смугу пропускання (до 10 Гбіт/с IEEE P802.3av).
- Надаючи ширококомвні можливості, PON виявляється досить ефективною для передачі відеопрограм (цифрових або аналогових).
- PON виключає необхідність інсталяції активних мультиплексорів в точках розгалуження, що полегшує обслуговування таких мереж і мінімізує енергоспоживання. Замість активних пристроїв в таких точках PON використовує невеликі пасивні оптичні розгалужувачі.
- Будучи оптично прозорими по всій довжині, PON дозволяє легко переходити на велику швидкість обміну або застосування додаткових довжин хвиль.

Ethernet PON (EPON) є мережею, що базується на PON, яка транспортує дані, інкапсульовані в Ethernet-кадри (визначено стандартом IEEE 802.3). При цьому використовується канальне кодування 8B/10B (8 користувальницьких біт перетворюються в 10 канальних) [2].

Застосування пасивних оптичних мереж розглядалося як технології мереж доступу задовго до широкого впровадження Інтернет. Рекомендації ITU G.983 для FSAN (Full Service Access Network) визначають оптичний доступ типу PON для мереж, де на рівні L2 застосовується ATM. У 1995, коли стартувала ініціатива FSAN, на ATM поклалися великі надії. Передбачалося, що цей стандарт стане основою технології локальних мереж, MAN і опорних мереж. Однак з тих пір технологія Ethernet обійшла ATM. Ethernet стала універсальним мережевим

стандартом, у світі використовується понад 320 мільйонів інтерфейсів [13]. Швидкий гігабітний Ethernet використовується все ширше, стало доступним обладнання для 10-гігабітного Ethernet. Зараз очевидно, що Ethernet став найбільш широко використовуваною технологією для MAN і WAN. Враховуючи, що 95% LAN використовують Ethernet, стає зрозуміло, що ATM PON не може конкурувати в якості засобу з'єднання двох мереж Ethernet [2].

З іншого боку, Ethernet видається цілком логічним вибором для мережі, орієнтованої на IP-доступ. Після впровадження нових технологій гарантії якості обслуговування (QoS) Ethernet стала мережею, здатною підтримувати передачу даних, голосу і відео. Ці технології включають в себе режим повнодуплексного обміну (P802.1p) і віртуальних локальних мереж (VLAN; P802.1Q). Ethernet є недорогою технологією, яка є всюдисущою з великою різноманітністю доступного устаткування [2].

1.3 Порівняльний аналіз AON та PON

У системах з активною оптикою використовується комутаційне обладнання, що потребує підключення до електричної мережі. Для здійснення обробки потоків в мережі інформації використовуються різні комутатори і маршрутизатори, які обробляють дані, що надходять на них і перенаправляють їх за потрібною адресою. У пасивних оптоволоконних системах, навпаки, немає ніякого обладнання, що живиться від електрики. Натомість тут використовуються спеціальні оптичні розгалужувачі, які самостійно поділяють і групують оптичні сигнали, що проходять крізь них. Таким чином, живлення тут необхідно тільки для джерел і приймачів даних. У деяких випадках системи типу FTTH можуть одночасно складатися з активних і пасивних елементів. Такі системи називають гібридними.

Пасивні оптичні мережі мають ряд недоліків. З їх допомогою можна передавати інформацію на більш короткі відстані, ніж це можливо в активних мережах. Це означає, що користувачі таких мереж повинні бути ближче

розташовані до центрального джерела даних, що значно обмежує сферу застосування пасивних систем. Наступний мінус полягає в тому, що при виникненні поломок в такій мережі дуже складно виявити її місцезнаходження. І, нарешті, пропускна здатність пасивних оптичних мереж не призначена для роботи з індивідуальними абонентами, що позначається на зниженні швидкості передачі даних під час їх перевантаженості. Це також стає причиною затримок, що особливо помітно при потоковому відтворенні аудіо та відео, для яких дуже важлива постійна швидкість передачі даних.

Активні оптичні мережі також мають певні переваги над пасивними. Абоненти подібних мереж можуть самостійно вибирати обладнання, яке забезпечуватиме необхідну їм дальність передачі даних, а також розширювати свою мережу без необхідності її реструктуризації.

Говорячи про слабкі сторони активних систем, варто згадати необхідність установки комутаторів для кожних 48 абонентів мережі. А оскільки активні системи вимагають електроживлення, вони набагато менш надійні в порівнянні зі своїми пасивними аналогами.

Отже, переваги архітектури PON:

відсутність проміжних активних вузлів;

економія волокон від центрального вузла до розгалуджувача;

економія оптичних приймачів в центральному вузлі;

легкість підключення нових абонентів і зручність обслуговування (підключення, відключення або вихід з ладу одного або декількох абонентських вузлів ніяк не позначається на роботі інших).

Деревоподібна топологія P2MP дозволяє оптимізувати розміщення оптичних розгалуджувачів виходячи з реального розташування абонентів, витрат на прокладку оптичного кабеля і експлуатацію кабельної мережі.

До недоліків можна віднести певну складність технології PON і відсутність резервування в найпростішій топології дерева.

1.4 Основні топології оптичних мереж доступу

Існують чотири основні топології побудови оптичних мереж доступу: "точка-точка", "кільце", "дерево з активними вузлами", "дерево з пасивними вузлами".

«Кільце». Кільцева топологія (рисунок 1.6) на основі SDH позитивно зарекомендувала себе в міських телекомунікаційних мережах.

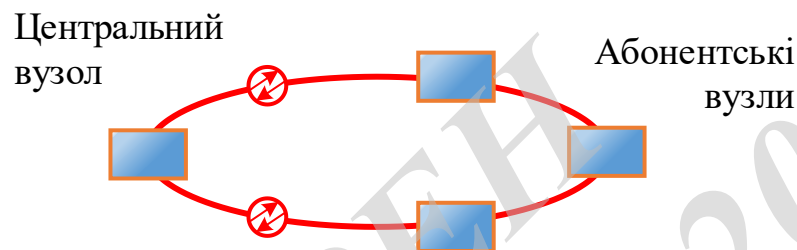


Рисунок 1.6 - Топологія «кільце»

Однак в мережах доступу є також проблеми. Якщо при побудові міської магістралі розташування вузлів планується на етапі проектування, то в мережах доступу не можна заздалегідь знати де, коли і скільки абонентських вузлів буде встановлено. При випадковому територіальному і часовому підключенні користувачів кільцева топологія може перетворитися в сильно зламане кільце з безліччю відгалужень, підключення нових абонентів здійснюється шляхом розриву кільця і вставки додаткових сегментів. На практиці часто такі петлі поєднуються в одному кабелі, що значно знижує надійність мережі. Фактично головна перевага кільцевої топології зводиться до мінімуму.

«Точка-точка» (P2P). Найбільш проста архітектура. Основний мінус пов'язаний з низькою ефективністю кабельних систем. Необхідно вести окремий волоконно-оптичний кабель з центрального вузла в кожен будинок чи до кожного корпоративного абонента. Даний підхід може бути реалізований в тому випадку, коли абонентський вузол (будівля, офіс, підприємство), до якого прокладається виділена кабельна лінія, може використовувати ці лінії рентабельно.

Топологія P2P (рисунок 1.7) не висуває обмежень на мережеву технологію, що використовується. P2P може бути реалізована як для будь-якого мережевого стандарту, так і для нестандартних рішень, наприклад, оптичні модеми. З точки зору безпеки і захисту інформації, що передається при з'єднанні P2P забезпечується максимальна захищеність абонентських вузлів.

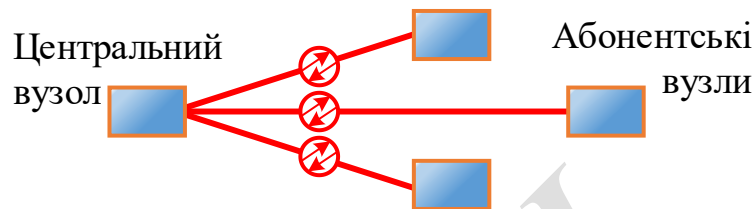


Рисунок 1.7 - Топологія «точка-точка»

Оскільки оптичний кабель потрібно прокладати індивідуально до абонента, цей підхід є найбільш дорогим і привабливим в основному для потужних абонентів.

«Дерево з активними вузлами». Дерево з активними вузлами (рисунок 1.8) - це економічне з точки зору використання оптичного волокна рішення.

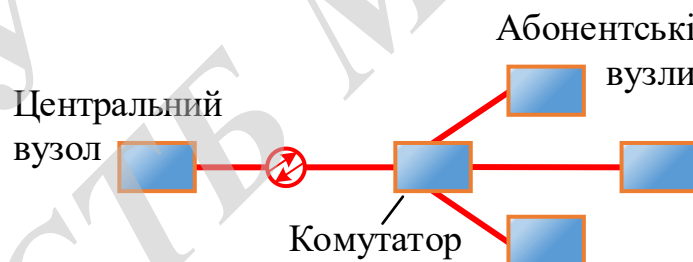


Рисунок 1.8 - Топологія «дерево с активними вузлами»

Це рішення добре вписується в рамки стандарту Ethernet з ієрархією за швидкостями від центрального вузла до абонентів 1000/100/10 Мбіт/с (1000Base-LX, 100Base-FX, 10Base-FL). Однак у кожному вузлі дерева обов'язково повинен знаходитися активний пристрій (стосовно IP-мереж, комутатор або маршрутизатор). Оптичні мережі доступу Ethernet, які переважно використовують цю топологію, відносно недорогі. До основного недоліку слід віднести наявність

на проміжних вузлах активних пристроїв, що вимагають індивідуального електроживлення.

«Дерево з пасивним оптичним розгалуженням PON (P2MP)». Рішення на основі архітектури PON (рисунок 1.9) використовує логічну топологію «один до багатьох» або «точка - багатоточка» P2MP (point-to-multipoint), яка покладена в основу технології PON, до одного порту центрального вузла можна підключати цілий волоконно-оптичний сегмент деревовидної архітектури, що охоплює десятки абонентів.

При цьому в проміжних вузлах дерева встановлюються компактні, повністю пасивні оптичні розгалужувачі (сплітери), які не потребують живлення і обслуговування.

Загальновідомо, що PON дозволяє економити на кабельній інфраструктурі за рахунок скорочення сумарної протяжності оптичних волокон, оскільки на ділянці від центрального вузла до сплітера використовується всього одне волокно. При цьому виникає і ще одне важливе джерело економії - скорочення числа оптичних передавачів та приймачів в центральному вузлі. Зокрема, економія другого чинника в деяких випадках виявляється навіть більш істотною.

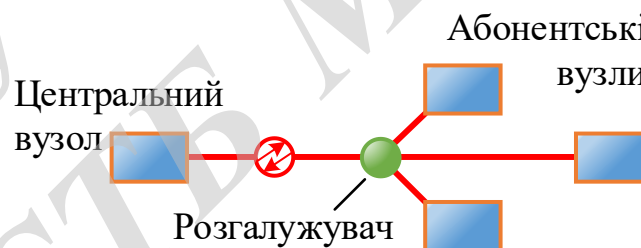


Рисунок 1.9 - Топологія «дерево з пасивним оптичним розгалуженням»

1.5 Тестування PON мережі

При тестуванні мережі PON оператора звичайно хвилюють два основних питання:

- реальне загасання в оптичній лінії між центральним вузлом і абонентським пристроєм (чинним або тим, що готуються до підключення);

- місцезнаходження проблемної ділянки, якщо реальне загасання в лінії виявилось вище очікуваного (розрахункового або опорного).

Для відповіді на перше питання досить провести прості вимірювання за допомогою оптичного тестера. Друге питання більш складне і вимагає застосування оптичного рефлектометра (OTDR), а також певного досвіду розшифровки рефлектограм.

Як правило, бажано, щоб всі необхідні вимірювання могли проводитися на працюючій мережі PON без відключення абонентів (крім, можливо, тестованого). Таке тестування здійснюється на неробочій довжині хвилі із застосуванням додаткових пристроїв (хвильових мультиплексорів DWDM, фільтрів), щоб випромінювання вимірювальної апаратури не вносило перешкод в корисний сигнал. Відомо, що в мережі PON для прямого каналу (від центру до абонентів) використовується довжина хвилі 1490 або 1550 нм (для відео), для зворотного - 1310 нм. Для тестування мережі PON зазвичай використовують довжину хвилі 1625 нм.

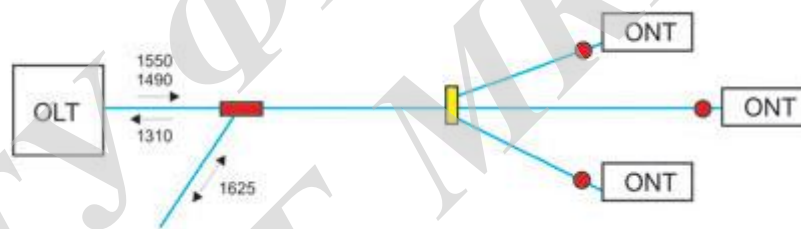


Рисунок 1.10 – Схема підключення хвильового мультиплексора і фільтрів до PON

Випромінювання вимірювальної апаратури (тестера, рефлектометра) вводиться в волокно відразу після OLT з використанням хвильового мультиплексора (DWDM). Це випромінювання здатне викликати перешкоди на оптичному приймачі абонентського пристрою, тому перед кожним абонентським пристроєм ONT необхідно встановити фільтр. Для того щоб можна було проводити тестування без відключення мережі, хвильовий мультиплексор і фільтри повинні бути стаціонарно включені в оптичний тракт, рисунок 1.10.

Для вимірювання згасання в оптичній лінії між OLT і ONT використовується оптичний тестер на 1625 нм. Передавач тестера підключається до вільного кінця хвильового мультиплексора на OLT. Приймач тестера підключається до вільного кінця волокна перед фільтром, рисунок 1.11.

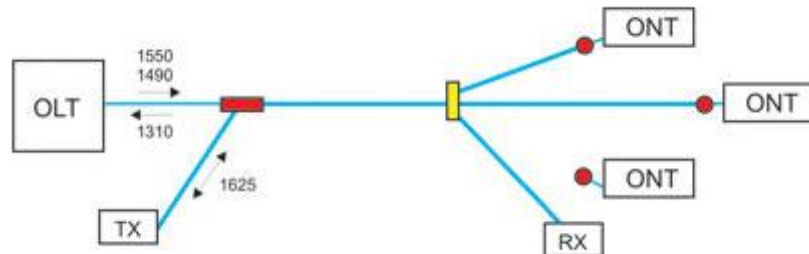


Рисунок 1.11 – Вимірювання згасання з відключенням абонентського пристрою

Можна вимірювати згасання і без відключення абонентського пристрою. Для цього на ONT потрібно використовувати не фільтр, а хвильовий мультиплексор, як на центральному вузлі, рисунок 1.12.

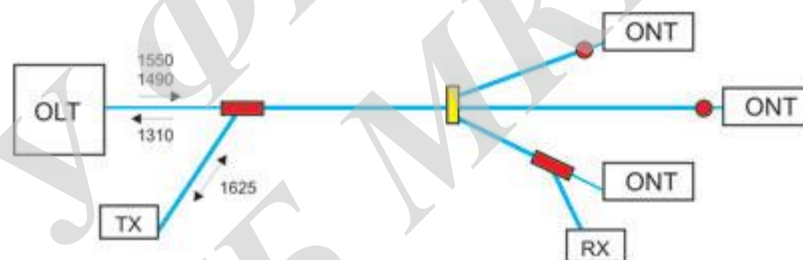


Рисунок 1.12 – Вимірювання згасання без відключення абонентського пристрою

Згасання на довжині хвилі тисячі шістьсот двадцять п'ять нм трохи вище, ніж на 1550 і 1490 нм (в середньому на 10%). Тому тестування згасання на довжині хвилі 1625 нм дає оцінку зверху для згасання на робочих довжинах хвиль. Якщо ця оцінка вкладається в допустимий бюджет (23 дБ), то загасання на робочих довжинах хвиль свідомо задовольняє вимогам по бюджету. Якщо загасання на довжині хвилі 1625 нм перевищує допустиме значення, то для точного визначення

згасання на робочих довжинах хвиль необхідно провести перерахунок на основі паспорта оптичного кабелю.

Вимірювання в PON за допомогою оптичного тестера дозволяє отримати реальне значення загасання на ділянці від OLT до ONT, але не дає відповіді на питання, де знаходиться проблемна ділянка, якщо це затухання виявилось вище очікуваного (розрахункового або опорного). Для локалізації проблемної ділянки використовується більш складний пристрій - оптичний рефлектометр (OTDR).

Рефлектометр з тестовим модулем на 1625 нм підключається до вільного кінця хвильового мультиплексора на OLT, (див. рисунок 1.13). Випромінювання рефлектометра поширюється по дереву PON і за рахунок відбиття на перешкодах і зворотного розсіювання в оптичному волокні частково надходить назад на вхід рефлектометра. Таким чином, знімається рефлектограмм дерева PON - графік загасання в лінії в залежності від відстані. Кожен пік або стрибок загасання на цьому графіку відповідає певному елементу мережі, або події у волокні.

Методика тестування мережі PON з використанням рефлектометра полягає в наступному. Після кожної зміни топології мережі (підключення нового абонента, заміни спліттера тощо) знімається опорна (еталонна) рефлектограма, що відповідає нормальному стану мережі. При виявленні проблем в мережі (наприклад, якщо загасання, виміряне оптичним тестером, виявилось вище розрахункового) знімається нова рефлектограма, яка порівнюється з опорною. Нові події на рефлектограмі локалізують розташування проблемної ділянки,

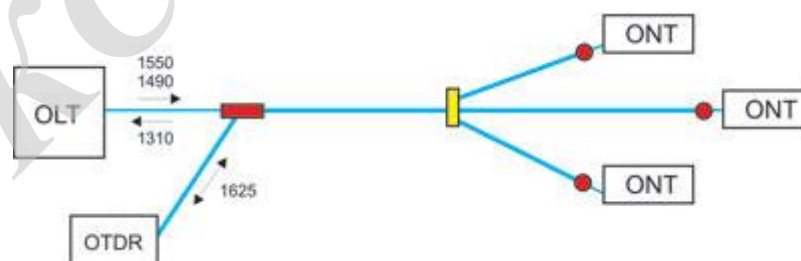


Рисунок 1.13 – Зняття рефлекторами дерева PON

За допомогою рефлектометра можна вести моніторинг мережі PON і виявляти деградації волокна ще до того, як виникнуть проблеми. Для цього необхідно регулярно (наприклад, раз на тиждень) знімати рефлектограму мережі і порівнювати її з опорною рефлектограмою. При появі будь-яких відхилень і тим більше нових подій на рефлектограмі необхідно аналізувати їх можливі причини і при необхідності проводити адекватні профілактичні заходи.

Висновки

Проведений огляд та аналіз систем широкосмугового доступу на базі ВОЛЗ показав основні переваги та недоліки активних і пасивних систем.

До переваг пасивних оптичних мереж можна віднести те, що кожне оптичне волокно кабелю такої мережі може обслуговувати одночасно до 32 користувачів, такі системи є дуже ефективними. У порівнянні з активними оптичними мережами, пасивні набагато більш економічні в установці і подальшому технічному обслуговуванні. Проте, інформація в пасивних оптичних мережах передається на менші відстані ніж в активних.

2 МОДУЛЯЦІЯ ОПТИЧНОГО ПРОМЕНЯ У ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИХ СИСТЕМАХ ПЕРЕДАЧІ

2.1 Види модуляції світла

Модуляція світла – це зміна одного з параметрів світла: інтенсивності, частоти, фази, поляризації, напрямку, частоти розподілу мод і т.і. в залежності від керуючого сигналу. Керуючий (модуючий) сигнал може бути електричним (струм, напруга), акустичним, механічним і навіть оптичним. Для модуляції оптичної несучої інформаційним сигналом можна використовувати такі види модуляції [14]:

- по інтенсивності (МІ);
- частотну (ЧМ);
- фазову (ФМ);
- поляризаційну (ПМ).

У переважній більшості використовується модуляція за інтенсивністю оптичного випромінювання. При фіксованих просторових координатах миттєве значення електричного поля монохроматичного оптичного випромінювання можна записати у вигляді [14]:

$$E(t) = E_m \cos(\omega_0 t + \varphi_0), \quad (2.1)$$

де E_m - амплітуда поля; ω_0 і φ_0 - відповідно частота і фаза оптичної носійної. Тоді миттєве значення інтенсивності

$$I \sim E^2(t) = E_m^2 \cos^2(\omega_0 t + \varphi_0), \quad (2.2)$$

а усереднене значення періоду:

$$\bar{I} \sim 0,5 E_m^2. \quad (2.3)$$

Останнє називається середньою інтенсивністю. При МІ саме ця величина змінюється відповідно до модулюючого сигналу $F(t)$, тобто

$$\bar{I}(t) \sim F(t). \quad (2.4)$$

Широке застосування МІ пояснюється тим, що для використовуваних в оптичних передавачах напівпровідникових джерел випромінювання (СІД, ЛД), цей вид модуляції в широкому діапазоні частот виконується простими технічними засобами. Для керування інтенсивністю випромінювання напівпровідникового джерела досить змінювати струм інжекції (струм накачування) відповідно до модулюючого сигналу. Це легко забезпечується електронною схемою збудження.

2.2 Методи модуляції оптичної носійної

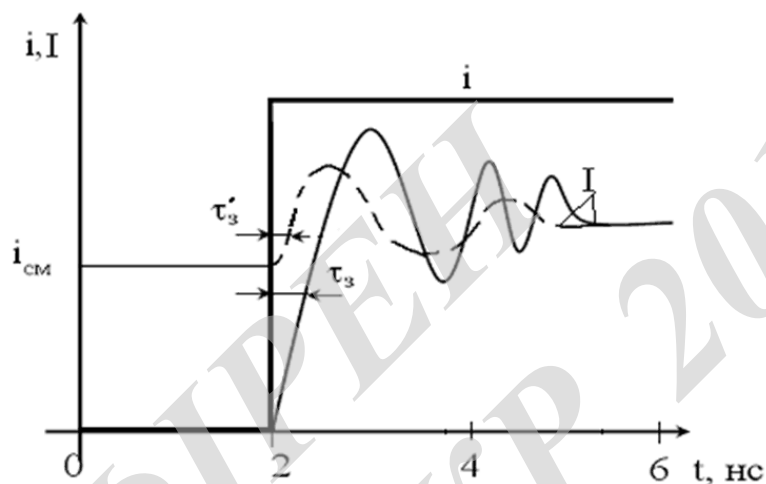
Фактичним переносником даних в оптичному волокні є оптична носійна, випромінювана джерелом. Вона і повинна бути, в кінцевому рахунку, промодульована. Зробити це можна чотирма способами [14]: безпосередньою модуляцією оптичної носійної лінійною кодовою послідовністю (ЛКП), модуляцією носійної з використанням спеціального модулятора, сигнал якого видозмінюється за допомогою ЛКП, модуляцією з використанням проміжної носійної, яка потім безпосередньо модулює оптичну носійну, модуляцією з використанням підносійної і модулятора.

Таким чином, розрізняють модуляцію без підносійної, коли модулюють безпосередньо параметри оптичної носійної, і з підносійною, коли спочатку модулюють проміжне НВЧ колювання, яке потім модулює оптичну носійну.

2.2.1 Безпосередня модуляція оптичної носійної

Ця модуляція може бути здійснена, наприклад, шляхом безпосередньої модуляції струму накачування лазерного діода по типу "включено - виключено" відповідно до ЛКП.

Така внутрішня модуляція інтенсивності випромінювання ЛД струмом накачування може проводитися з високою швидкістю. Ця перевага визначається малим часом життя електронів $\tau_n \sim 10^{-9}$ с в р-п-переході і відповідно можливістю швидкого «включення» інверсної населеності. Перехідна характеристика багатомодового лазера, яка наведена на рисунку 2.1, відображає процес встановлення стаціонарного режиму.



Рисунку 2.1 – Перехідна характеристика лазера

При збудженні лазера стрибком струму i спостерігається затримка початку генерації на час τ_3 . Цей час необхідний для зростання щільності нерівноважних носіїв до порогового рівня. Воно визначається за формулою:

$$\tau_3 = \tau_n \cdot 20 \lg[i/(i - i_n)], \quad (2.5)$$

де i_n – пороговий струм ЛД; τ_n – час життя електронів в р-п-переході.

Природно, що τ_3 може бути зменшено, якщо через лазер протікає струм зміщення $i_{зм}$ оскільки при цьому потрібно менший стрибок струму для початку генерації.

$$\tau'_3 = \tau_n \cdot 20 \lg[i/(i - i_n + i_{зм})], \quad \tau'_3 < \tau_3 \quad (2.6)$$

Перехідна характеристика для цього випадку представлена на рисунку 2.2.1 штриховий лінією. Швидке включення інверсної населеності призводить до появи затухаючих коливань інверсної населеності, і як наслідок, інтенсивності випромінювання, близької їх стаціонарних значень. Частота цих релаксаційних коливань $f_{\text{рел}}$, наприклад, в ідеальному одномодовому лазері описується наближеною формулою

$$f_{\text{рел}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{\tau_n\tau_\phi}} \left(\frac{i}{i_n} - 1 \right), \quad (2.7)$$

де $\tau_\phi \approx 10^{-12}$ с - час життя фотона в резонаторі, яке визначається втратами в ньому.

Істотним при наявності струму зміщення є зменшення амплітуди перехідного процесу (штрихова лінія).

Релаксаційним коливанням в перехідній характеристиці лазера відповідає резонанс поблизу $f_{\text{рез}}$ на амплітудно-частотній характеристиці, яка наведена на рисунку 2.2.

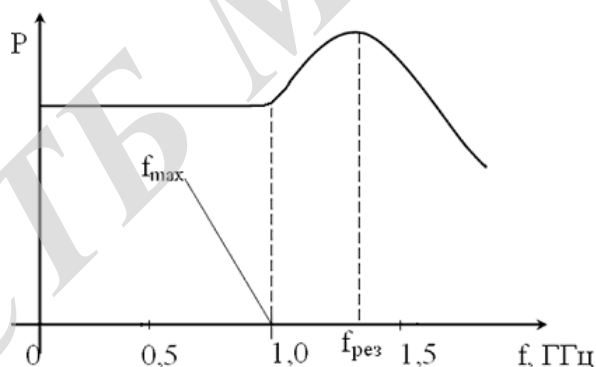


Рисунок 2.2 – Амплітудно-частотна характеристика лазера

Таким чином, можна вважати, що при імпульсній модуляції струмом накачування з тривалістю

$$\tau_n \gg \sqrt{\tau_n\tau_\phi}, \quad (2.8)$$

і при аналоговій модуляції з частотами в спектрі $f \ll f_{\text{рез}}$ в кожен момент часу інтенсивність приймає стаціонарне значення для статичної ват-амперної характеристикою лазера. При

$$\tau_n = \sqrt{\tau_n \tau_\phi} \text{ і } f \approx f_{\text{рез}}, \quad (2.9)$$

істотно починають впливати перехідні процеси. Розрахунки показують, що при використанні багатомодових лазерів досить просто реалізується імпульсно-кодова модуляція зі швидкістю 400 Мбіт/с.

Для спонтанних джерел світла, таких як СІД, застосовна в основному внутрішня модуляція інтенсивності за допомогою управління струмом збудження. У СІД потужність випромінювання зростає лінійно зі збільшенням струму інжекції I_i і обмежується лише термічними ефектами.

Метод внутрішньої модуляції оптичної носійної має ряд істотних недоліків:

- вимагає електронних схем компенсації через нелінійність ват-амперної характеристики лазера;
- впливає на спектр випромінювання лазера і амплітуди окремих мод резонатора;
- не дозволяє повною мірою використовувати інші більш прогресивні методи кодування, засновані на модуляції амплітуди і фази, що застосовуються в спеціальних модуляторах;
- не зручний для систем з оптичним мультиплексуванням з поділом по довжинах хвиль, де кілька джерел, модулюючих сигналів одночасно використовуються для передачі інформації по одній носійній.

2.2.2 Модуляція з використанням проміжної носійної

Замість застосування внутрішньої модуляції, можна здійснити процес модуляції, використовуючи проміжну носійну, або підносійну, на радіочастоті в діапазоні $f_n = 10 \text{ МГц} - 10 \text{ ГГц}$. Цій модульованій підносійній можна потім модулювати основну оптичну носійну f_c . Головна відмінність цієї схеми модуляції

від схеми прямої модуляції в тому, що при цьому можуть бути використані різні стандартні методи і пристрої модуляції: амплітудні, частотні, фазові і комбіновані, добре розроблені для діапазону радіочастот.

Схема використання проміжної носійної показана на рисунку 2.3 (як приклад наведена схема амплітудної маніпуляції струму збудження лазера).

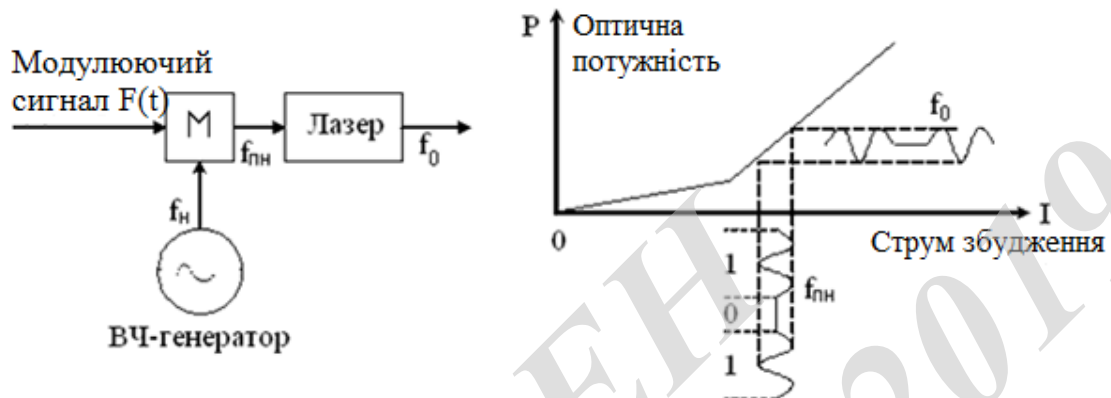


Рисунок 2.3 – Схема модуляції з використанням проміжної носійної

Використання підносійної (тобто носійної для кожного частотного каналу) необхідно і при багатоканальній модуляції в системах з оптичним мультиплексуванням по довжинах хвиль.

2.3 Типи оптичних модуляторів

Оптичні модулятори застосовуються при зовнішній модуляції вже сформованого світлового променя. Розрізняють такі типи модуляторів [14]:

- акустооптичні, що використовують закони акустооптики;
- електрооптичні, що використовують закони електрооптики;
- електрооптичні, що використовують напівпровідникові підсилювачі.

2.3.1 Акустооптичні модулятори

Принцип дії акустооптичного модулятора (АОМ) заснований на залежності показника заломлення оптично прозорих матеріалів (наприклад, ніобата літію LiNbO_3) від тиску. Цей тиск може бути створено акустичними (ультразвуковими - УЗ) хвилями, що генеруються п'єзоелектричним перетворювачем -

п'єзокристалом (ПК). ПК наклеюють на акустооптичний материал для створення акустооптичної комірки (АОК), що є основним елементом модулятора. Принцип дії АОМ наведено на рисунку 2.4.

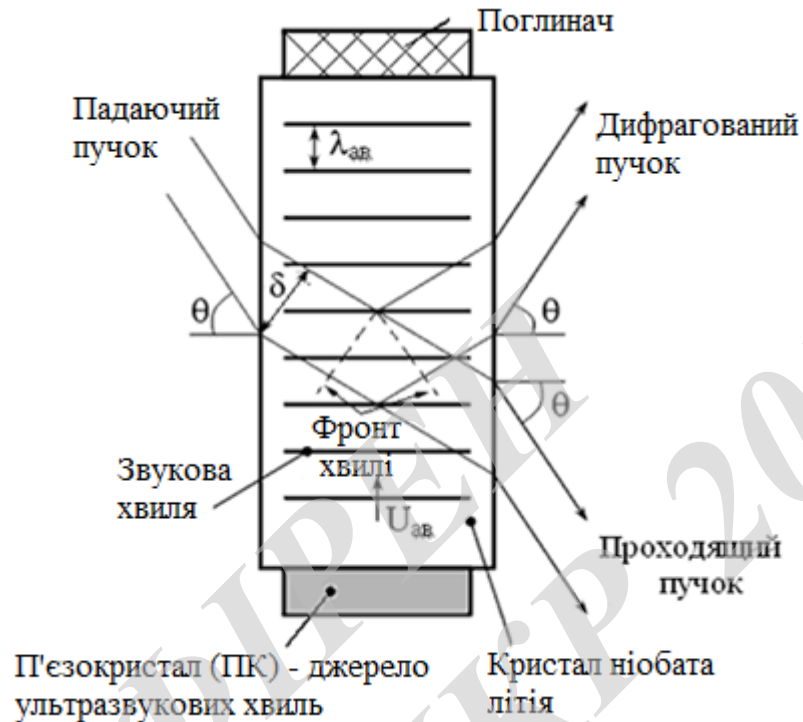


Рисунок 2.4 – Схема проходження пучка світла в АОМ

Акустична хвиля створює в оптичному середовищі структуру з показником заломлення, який періодично змінюється, що грає роль дифракційної решітки. Лінії рівного показника заломлення (на рисунку 2.4 вони показані суцільними горизонтальними лініями) відстоять на довжину акустичної хвилі λ_{ax} . Щоб не було відбитої акустичної хвилі, застосовують поглинач.

При вході падаючого пучка в АОК в результаті його взаємодії з фронтом звукової хвилі від ПК виникає дифракція світла на ультразвуку, що призводить до розщеплення падаючого пучка на проходящий і дифрагований. Характер взаємодії залежить від співвідношення діаметра пучка δ , довжини світлової хвилі λ і кута падіння θ . В оптичних модуляторах використовуються умови виникнення дифракції Брегга, тобто коли виконується співвідношення

$$\lambda_{ax} \sin \theta = m\lambda, \quad (2.10)$$

де λ_{ax} грає роль постійної решітки d ;

m - порядок дифракції ($m = 0, 1, 2, \dots$);

λ - довжина світлової хвилі.

Для цілей модуляції зазвичай використовується дифраговане світло, так як повна (100%) модуляція світла, що проходить вимагає дуже великої акустичної потужності. Модуляція створюється амплітудно-модульованою звуковою хвилею, взаємодія з якою і модулює інтенсивність дифрагованої хвилі, що грає роль вихідної хвилі для модулятора. Швидкодія модулятора визначається часом проходження звукового сигналу через поперечний переріз світлового пучка і має порядок 10^{-7} с.

АОМ є досить простим і надійним пристроєм, хоча і має певні недоліки, основні з них такі:

- нелінійність характеристики перетворення;
- зменшення глибини модуляції з ростом частоти модуляції, що обмежує їх використання в високошвидкісних схемах;
- зміщення частоти модульованого лазерного випромінювання на величину акустичної модулюючої частоти;
- невисока ефективність дифракції, що визначається як відношення інтенсивностей дифрагованого і падаючого пучків (її збільшення досягається за рахунок збільшення потужності акустичного сигналу).

АОК може бути використана в різних типах акустооптичних приладів: дефлекторах, сканерах, модуляторах, фільтрах і процесорах - залежно від того, яким параметром оптичного променя здійснюється управління.

2.3.2 Електрооптичні модулятори

Оптичні характеристики будь-якого середовища, наприклад, такі, як показник заломлення, впливають на характер і поляризацію світла, залежать від розподілу зв'язаних зарядів (електронів та іонів) в середовищі. Під дією прикладеного електричного поля воно може змінюватися, що призводить до зміни так званого еліпсоїда показника заломлення та стану поляризації. У середовищах,

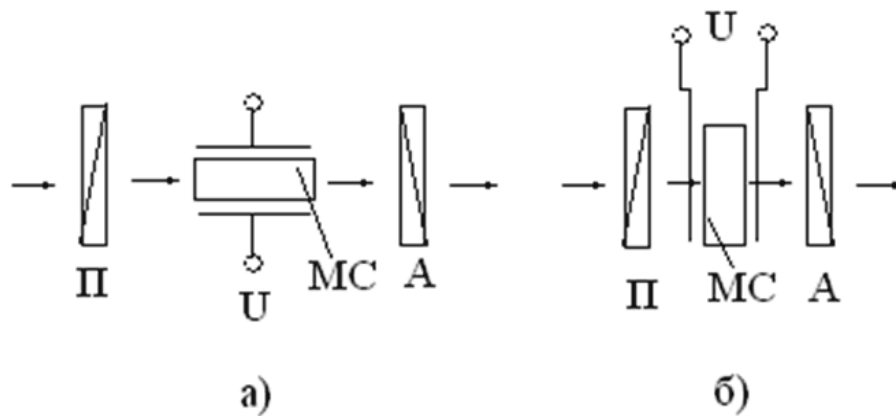
що не мають центральної симетрії, вказана дія проявляється у вигляді лінійного електрооптичного ефекту Поккельса. У середовищах з центральною симетрією, навпаки, спостерігається квадратичний електрооптичний ефект Керра. Ці два найбільш значних електрооптичних ефекти можуть бути використані при побудові електрооптичних модуляторів.

Для модуляції світла широко використовують добре вивчений електрооптичний ефект Керра (1875), що складається у виникненні оптичної анізотропії під дією зовнішнього електричного поля в ізотропній речовині. Для спостереження ефекту прозору діелектричну речовину поміщають між обкладинками плоского конденсатора, до якого прикладають напругу U , що створює в модулюючому середовищі MC досить сильне електричне поле E . Осередок Керра поміщають між схрещеними поляризатором P і аналізатором A . При $U = 0$ інтенсивність світла на виході пристрою також дорівнює нулю, однак при прикладенні напруги модулююче середовище стає в оптичному відношенні подібною до двопронезаломлюючого кристалу з оптичною віссю, паралельною напрямку електричного поля. На рисунку 2.5 наведено роботу оптичних модуляторів на основі ефекту Керра і поздовжнього ефекту Поккельса.

Тому, пройшовши через осередок Керра, світлова хвиля розпадається на дві лінійно поляризовані складові. Одна з них поляризована так, що її електричний вектор орієнтований перпендикулярно зовнішньому полю (звичайна хвиля), а інша - паралельно (незвичайна хвиля). Для забезпечення максимальної глибини модуляції потрібно, щоб головна площина поляризатора P становила з вектором кут 45° . Звичайна і незвичайна хвилі мають різні показники заломлення (n_o і n_e) і тому поширюються в середовищі з різними швидкостями. Пройшовши осередок Керра, світло виявляється еліптично поляризованим і в більшій чи меншій мірі проходить через аналізатор. Теорія і досвід показують, що різниця n_o і n_e пропорційно E^2 .

$$\Delta n_o = n_e - n_o = k_K E^2, \quad (2.11)$$

де k_K - коефіцієнт, що не залежить від E .



П – поляризатор, А – аналізатор, МС – модулююче середовище

Рисунок 2.5 – Робота оптичних модуляторів на основі
а) ефекту Керра; б) поздовжного ефекту Поккельса

Різниця фаз між звичайними і незвичайними променями після проходження шляху l в модулюючє середовищі становить:

$$\varphi = 2\pi \frac{n_e - n_o}{\lambda} \cdot l = 2\pi \frac{k_K E^2 l}{\lambda} = 2\pi B l E^2, \quad (2.12)$$

де $B = k_K/\lambda$ - постійна Керра.

Квадратичний ефект Керра пояснюється оптичною анізотропією молекул модулюючого середовища, тобто відмінністю їх здатності до поляризації електричним полем світлової хвилі в різних напрямках. У відсутність зовнішнього електричного поля анізотропні молекули орієнтовані хаотично і речовина в цілому ізотропна. Якщо молекули володіють власним електричним дипольним моментом, то досить сильне електричне поле викликає їх переважну орієнтацію і речовина стає макроскопічно анізотропною.

У речовинах, що складаються з молекул, що не володіють власним дипольним моментом, зовнішнє електричне поле може його індукувати, причому через анізотропію молекул дипольний момент не обов'язково збігається з напрямом електричного поля. Виникає пара сил, що змушує молекули орієнтуватися певним чином відносно електричного поля. У відповідності зі сказаним розрізняють орієнтаційний і поляризаційний ефекти Керра. Час

орієнтаційної релаксації дипольних молекул по порядку величини складає 10 пс. Це означає, що при частотах модуляції, більших 100 МГц-1 ГГц, орієнтаційний ефект Керра практично не проявляється і залишається ефективним тільки поляризаційний ефект, швидкодія якого обмежена часом 0,1-1нс.

Електрооптичні явища спостерігаються не тільки в ізотропних речовинах, але і в кристалах, що володіють природною оптичною анізотропією. Щоб подвійне променезаломлення не проявлялося при $E = 0$, одноосний кристал вирізають так, щоб утворилися грані, перпендикулярні його оптичній осі, а світло направляють вздовж неї. Керуюче електричне поле створюють в напрямку, перпендикулярному напрямку поширення світла, тобто так само, як і в комірці Керра (рисунок 3.5, а). Можливий також модулюючий пристрій, в якому електричне поле направлено паралельно поширенню світла. Для цього на відповідні грані анізотропного кристала наносять прозорі електроди (рисунок 2.5, б). Згідно з рисунком 2.5 використовують терміни - поздовжній і поперечний електрооптичні ефекти. Зміну подвійного променезаломлення анізотропного кристала, поміщеного в електричне поле, називають ефектом Поккельса - по імені фізика, який його виявив у 1894 р. На відміну від ефекту Керра різниця n_o і n_e в ефекті Поккельса пропорційна E :

$$\Delta n_o = n_e - n_o = k_{\text{П}} E, \quad (2.13)$$

де $k_{\text{П}}$ - електрооптичний коефіцієнт, що відрізняється від $k_{\text{К}}$ у формулі (2.11) і за значенням, і по розмірності.

Як і для ефекту Керра ефекту Поккельса властива мала інерційність, що дозволяє модулювати світло до частот порядку 10 МГц. Слід, однак, мати на увазі, що верхня межа частоти модуляції найчастіше визначається не процесами в речовині, а ємністю пристрою і виявляється на кілька порядків нижче.

Таким чином, комірка Поккельса дозволяє здійснити модуляцію світлової хвилі за інтенсивністю за рахунок ефекту Поккельса при амплітудній модуляції напруги, яка подається на неї. Глибина модуляції - до 99,9%. Реалізація такого типу модуляторів характерна для використання об'ємної оптики, тоді як для

інтегральної оптики більш характерним є застосування керованих спрямованих відгалужувачів і модуляторів, що використовують схему інтерферометра Маха-Цендера.

Модулятор відповідно до схеми інтерферометра Маха-Цендера (ІМЦ) складається з двох ідентичних плечей інтерферометра, як показано на рисунку 2.6.

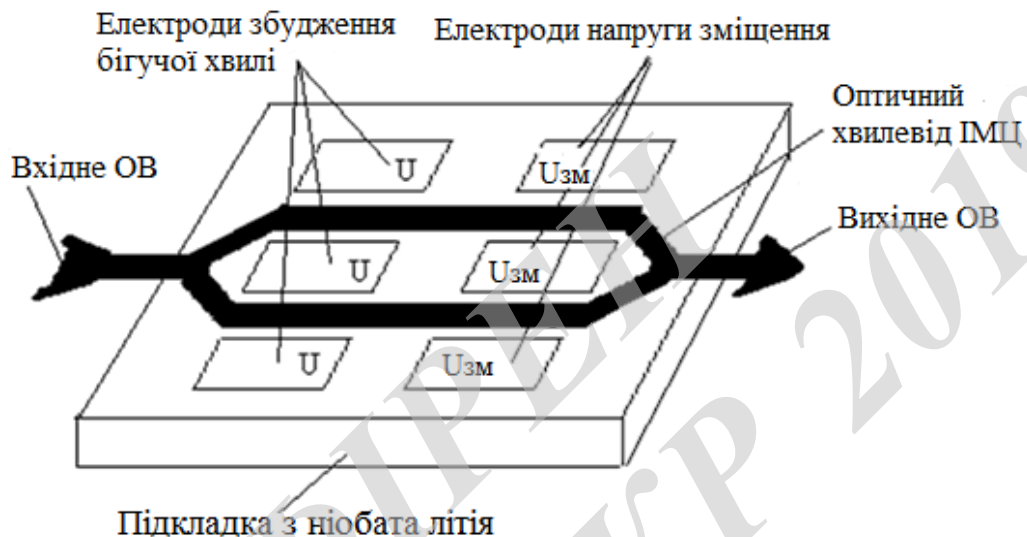


Рисунок 2.6 –Схема електрооптичного модулятора типу інтерферометра Маха-Цендера

На схемі показані два типи електродів: електроди для створення модулюючого електричного поля і електроди для створення постійного електричного поля, що дозволяє задавати робочу точку на передавальній характеристиці такого модулятора.

Модулююча напруга U повинна бути різнополярною. Залежно від полярності прикладеної напруги відбувається зміна показника заломлення середовища, в результаті чого змінюється швидкість проходження сигналу. Рух оптичної носійної сповільнюється в одному плечі і прискорюється в іншому.

Модулюючі електроди досить протяжні для забезпечення ефективної розподіленої (на довжині L) взаємодії полів електричної та оптичної хвиль.

Залежно від прикладеної до електродів напруги U і довжини L в зоні взаємодії полів моди, що поширюються по цих плечах, набувають зрушення фаз

$$\Delta\varphi = k_m \Delta n_{\text{еф}} L, \quad (2.14)$$

де $\Delta n_{\text{еф}} = n_{\text{еф}} r E / 2$ – амплітуда зміни ефективного показника заломлення моди; $n_{\text{еф}}$ – ефективний показник заломлення моди; r – електрооптичний коефіцієнт робочого оптичного середовища; E – напруженість електричного поля, створювана напругою U ; k_m – хвильовий вектор моди.

На виході ІМЦ відбувається модуляція вхідного світлового потоку по інтенсивності залежно від інтерференції світлових мод, які його досягли.

При фазовому зсуві до $\Delta\varphi = \pi$ і більше станеться ослаблення сигналу на виході модулятора порядку 20дБ.

Передатна характеристика ІМЦ, яка показана на рисунку 2.7, являє собою відрізок синусоїди, з якої для управління процесом модуляції вибирають одну з півхвиль, задаючи на ній певну напругу зміщення $U_{\text{зм}}$ за допомогою системи електродів напруги зміщення. Ця напруга може бути вибраною як для роботи в лінійній, так і в квадратичній області передавальної характеристики.

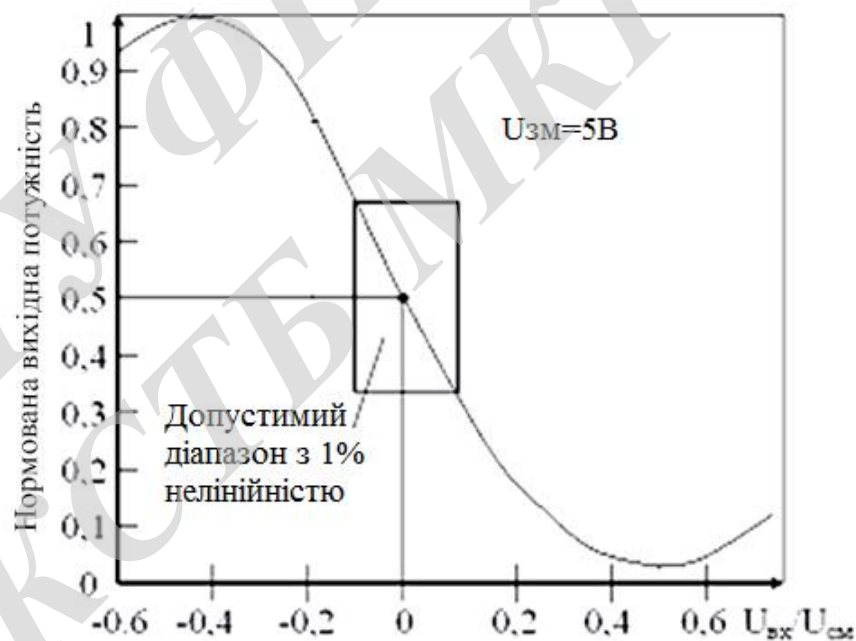


Рисунок 2.7 – Передавальна характеристика модулятора типу ІМЦ

Такий тип модулятора найбільш широко використовується в різних додатках, і насамперед у системах нового покоління і мультиплексування по довжинах хвиль.

2.4 Демодуляція

Фотодетектор, що входить до складу фотоприймача, є квадратичним приладом, вихідний струм якого пропорційний квадрату амплітуди оптичного поля, тобто потужності падаючого на фоточутливу поверхню оптичного сигналу. Отже, подаючи модульований по інтенсивності оптичний сигнал безпосередньо на фотодетектор, можна дуже просто перетворити його в електричний із збереженням в ідеальному випадку форми модулюючого сигналу.

При демодуляції використовується в основному два види прийому оптичних сигналів: некогерентний прийом, тобто безпосередній прийом фотодетектором і когерентний прийом, в якому застосовується гетеродинне або гомодинне перетворення частоти незалежно від виду демодуляції (синхронна або несинхронна), здійснюваної на проміжній частоті.

Розглянемо основні питання, що стосуються прийому оптичного сигналу з модуляцією інтенсивності. Класична схема для прийому оптичного випромінювання, промодульованого цифровими сигналами, показана на рисунку 2.8.

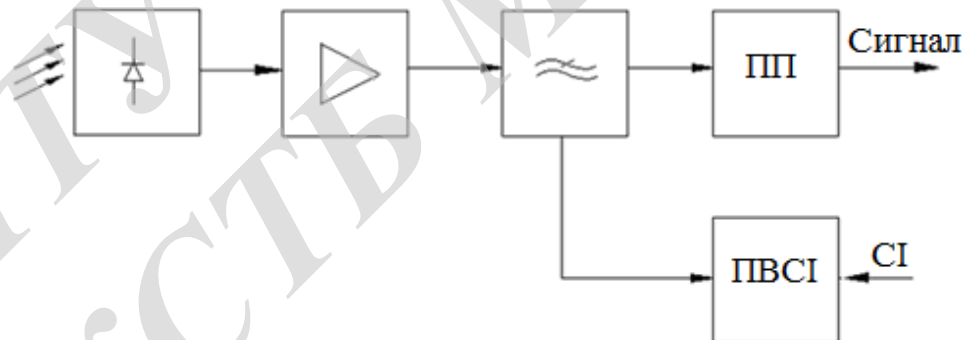


Рисунок 2.8 – Структурна схема прийому оптичного випромінювання, промодульованого цифровим сигналом

Детектований фотодіодом струм спочатку підсилюється малошумним підсилювачем, а потім фільтрується, щоб зменшити вплив шуму і отримати достатньо високий рівень сигналу на вході схеми прийняття рішень (порогового пристрою - ПП). Прийняття рішень здійснюється за допомогою пристрою

відновлення синхроімпульсів (ПВСІ). Часто в схему приймача вводиться схема АРР. Вона компенсує дрейф робочої точки характеристик, а також зміни коефіцієнтів підсилення підсилювачів і множення (при використанні ЛФД) або вхідного рівня.

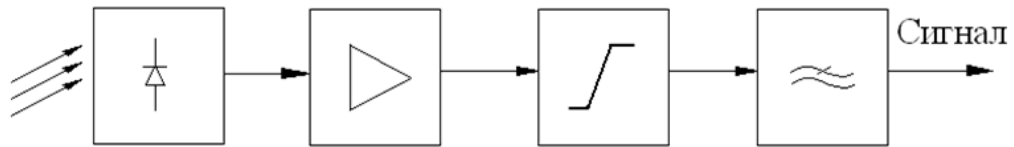


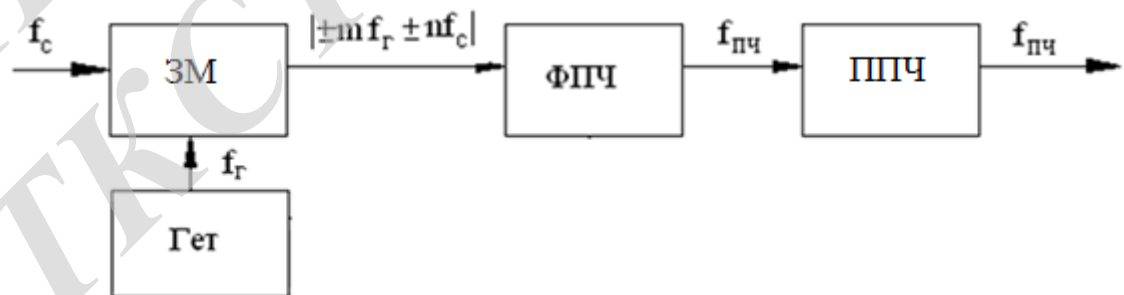
Рисунок 2.9 – Структурна схема безпосереднього прийому оптичних сигналів з аналоговою МІ

При прийомі оптичних сигналів з аналогової МІ безпосередній оптичний прийом аналогічний прийому з прямим підсиленням високочастотних сигналів. Згідно структурній схемі, яка представлена на рисунку 2.9 оптичне випромінювання падає безпосередньо на ФД.

За ФД слідує підсилювач змінної складової вихідного струму детектора. Між фотодетектором і підсилювачем, а також у схемі підсилювача можлива установка фільтрів, які відокремлюють складові спектру сигналу від шумів. Потім слідує плоско-лінійний вирівнювач і фільтр нижніх частот.

Когерентні ВОСП є перспективними. В їх основі лежить когерентний прийом оптичних сигналів - гетеродинний або гомодинний.

Гетеродинний метод може бути пояснений за допомогою рисунка 2.10.



ЗМ – змішувач; Гет – гетеродин; ФПЧ – фільтр проміжної частоти; ППЧ – підсилювач проміжної частоти

Рисунок 2.10 – Структурна схема гетеродинного перетворення частоти

У змішувачі (нелінійному пристрої) відбувається перетворення частоти. В результаті сигнал переноситься з однієї частоти на іншу шляхом взаємодії в нелінійному пристрої (напівпровідниковому діоді) з сильним сигналом гетеродина. Через нелінійність вольт-амперної характеристики діода протікає через нього струм під дією напруги з частотами f_c і f_r містить складові як гармонік частоти f_r , так і комбінаційних частот виду $|\pm mf_c \pm nf_r|$, де m і n цілі числа (1,2,3,...).

Структурна схема ВОСП показана на рисунку 2.11.

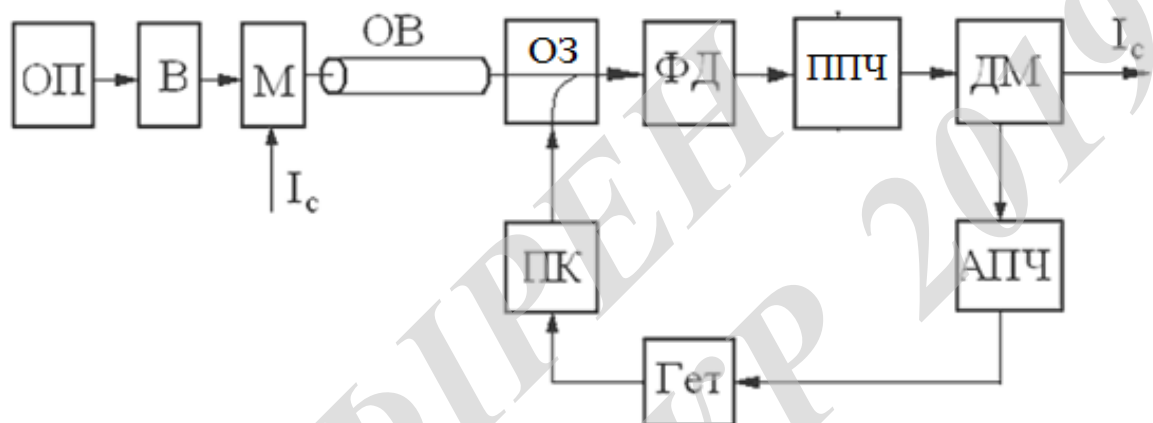


Рисунок 2.11 – Структурна схема когерентної ВОСП

Лазерний випромінювач оптичного передавача (ОП) генерує оптичний сигнал, спектральна смуга якого повинна бути максимально вузькою, щоб ефективність гетеродина була найкращою. При гетеродинному прийомі цифрових АМ, ЧМ і ФМ сигналів відношення ширини смуги випромінювання $\Delta\lambda$ до швидкості передачі, тобто $\Delta\lambda / B$, має становити $10^{-2}-5 \cdot 10^{-3} \text{ нм} / (\text{МГц} \cdot \text{км})$, а при гомодинному прийомі воно дорівнює $0,5 \cdot 10^{-3} \text{ нм} / (\text{МГц} \cdot \text{км})$.

Оптичний вентиль (В) призначений для ізоляції ОП від зворотного відбитого випромінювання, яке може привести до дестабілізації процесу генерації і розширення лінії генерації. Основним видом модуляції є цифрова (АМ, ЧМ і ФМ), яка реалізується за допомогою зовнішнього електрооптичного модулятора (М), на який подається цифрова інформація. В якості середовища поширення використовується одномодове однополяризаційне ОВ, що зберігає один стан поляризації випромінювання, оскільки когерентне оптичне детектування вельми

чутливе до поляризаційних станів переданого сигналу і випромінювання місцевого лазерного гетеродина (поляризації обох променів повинні збігатися).

В оптичному гетеродинному приймачі приймається сигнал, який підсумовується в оптичному з'єднувачі (ОЗ) з випромінюванням місцевого гетеродина і подається на квадратичний (по полю) фотодетектор (ФД). В результаті нелінійного перетворення сумарного сигналу фотодетектором на його виході з'являється сигнал проміжної частоти (ПЧ). Потім сигнал ПЧ підсилюється і демодулюється звичайним способом в сигнал НЧ. Демодуляція сигналу ПЧ може здійснюватися синхронним або несинхронним демодулятором (по обвідній, квадратичним методом), а також у разі цифрової ФМ - фазорізницевою схемою.

НЧ сигнал безпосередньо виділяється після процесу оптичного змішування, оскільки частота місцевого гетеродина збігається з частотою носійної оптичного сигналу. Контур автоматичного підстроювання частоти (АПЧ) необхідний для регулювання частоти лазерного місцевого гетеродина й утримання значення різницевої частоти в межах частотної смуги підсилювача ПЧ, наступного за ФД. У разі гомодинного прийому необхідний контур фазового автопідстроювання.

Висновки

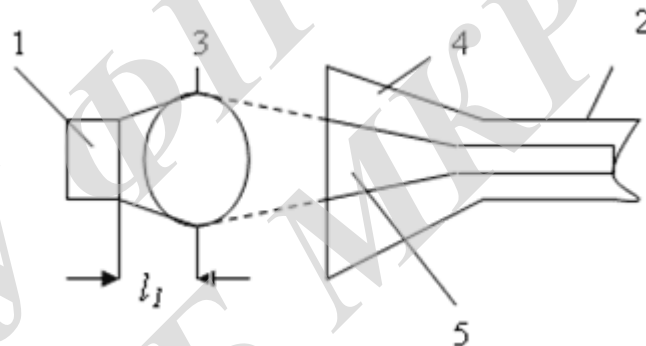
Проведено огляд та аналіз основних методів модуляції та демодуляції в ВОСП. До методів модуляції належать безпосередня модуляція оптичної носійної лінійною кодовою послідовністю; модуляція носійної з використанням спеціального модулятора; модуляція з використанням проміжної носійної; модуляція з використанням підносійної і модулятора. До основних методів демодуляції можна віднести некогерентний прийом і когерентний прийом. Також було розглянуто пристрої модуляції та демодуляції, до яких можна віднести акустооптичні, що використовують закони акустооптики; електрооптичні, що використовують закони електрооптики; електрооптичні, що використовують напівпровідникові підсилювачі.

3 ОБЛАДНАННЯ ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧІ

3.1 Пристрої введення та виведення

Пристрої введення і виведення повинні забезпечувати передачу максимально можливої потужності від джерел світла в світловод і із світловода в фотоприймач. Конструкція зазначених пристроїв визначається характеристиками як випромінювачів і фотоприймачів, так і світловодів. Світлодіоди можуть бути з низькою яскравістю і великою площею випромінювання S (типові значення $S = 0,2-5,6\text{мм}^2$) і, навпаки, з високою яскравістю і малою випромінюючою поверхнею. Останні (а також інжекційні лазери) можна безпосередньо приєднувати до світловоду встик [15].

Одним з найбільш поширених пристроїв введення є конічний пристрій, який наведено на рисунку 3.1.



1 – джерело випромінювання; 2 – одномодовий волоконний світловод; 3 – сферична лінза; 4 – оптичний конус; 5 - серцевина

Рисунок 3.1 – Метод введення оптичного випромінювання у ВС за допомогою оптичного конуса

3.2 Оптичні з'єднувачі

Одним з найважливіших завдань, які необхідно вирішити при побудові будь-якої оптичної системи зв'язку є завдання забезпечення надійного з'єднання оптичних волокон.

Оптичний з'єднувач - це пристрій, призначений для з'єднання різних компонентів ВОЛЗ в місцях введення і виведення випромінювання.

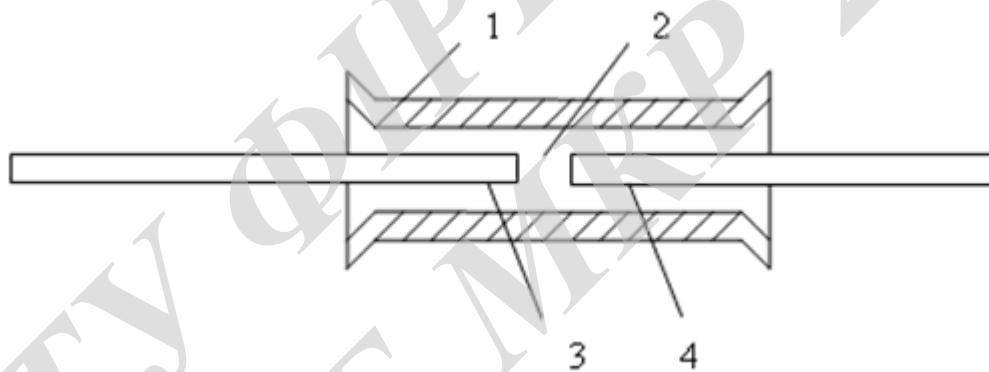
Розрізняють нероз'ємні і роз'ємні з'єднувачі.

Роз'ємні з'єднувачі допускають багаторазові з'єднання/роз'єднання і мають в своїй конструкції механізм зчеплення.

Нероз'ємні з'єднувачі жорстко фіксують один з одним два світловоди. Вони використовуються в місцях постійного монтажу кабельних систем. Основним методом монтажу, що забезпечує нероз'ємне з'єднання, є зварювання.

Крім того існує безліч інших способів нероз'ємного з'єднання світловодів. Розглянемо лише декілька з них.

Одним з найпоширеніших способів нероз'ємного з'єднання світловодів є використання прецизійних втулок або трубок, виконуваних зазвичай зі скла, схематичне зображення яких представлено на рисунку 3.2. Внесене згасання таких з'єднувачів становить 0,3дБ [16].



1-втулка; 2-склеюючий компаунд; 3,4-волоконна

Рисунок 3.2 - Спосіб з'єднання волокон за допомогою трубки

Нероз'ємне з'єднання, виконане з використанням пластин з канавками представлено на рисунку 3.3, таке з'єднання вносить згасання порядку 0,5 дБ.

Втрати в різних оптичних з'єднувачах виникають через зсув і несоосність елементів конструкції. Найбільш ефективно з'єднання торців в торцеві. Основними завданнями при торцевому з'єднанні є забезпечення:

- строгої співвісності;
- ідентичності геометрії торців;
- перпендикулярності їх поверхонь оптичним осям;

- високий ступінь гладкості торців.

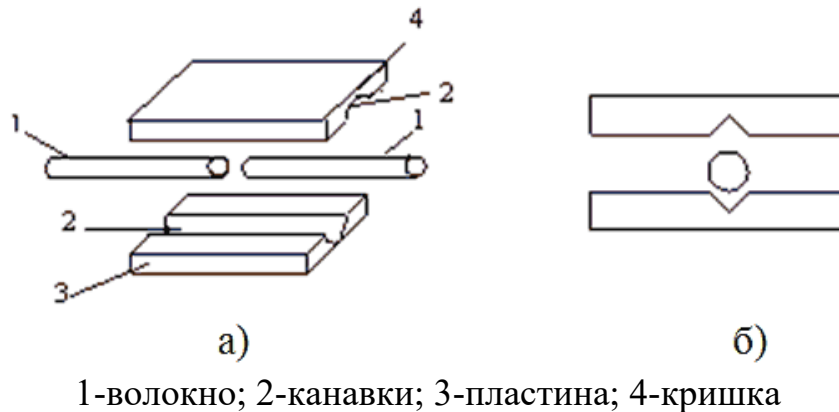


Рисунок 3.3 - Способи з'єднання волокна за допомогою пластин з круглою (а) і V-подібною (б) канавками

Всі типи з'єднань повинні бути досить простими як для складання з'єднання, так і для його ремонту.

3.3 Оптичні розгалужувачі

У волоконно-оптичній техніці часто виникають завдання поділу чи об'єднання потоків оптичного випромінювання, відведення частини оптичного випромінювання з основного каналу передачі в інші. Такі завдання вирішуються за допомогою оптичних розгалужувачів.

Оптичний розгалужувач - це в загальному випадку багатополісний пристрій, в якому випромінювання, що подається на частину вхідних оптичних полюсів, розподіляється між його рештою полюсами.

Під оптичним полюсом розуміється місце введення або виведення оптичного випромінювання.

Розрізняють чотири види розгалужувачів [16]:

- Направлені;
- Ненаправлені;
- Чутливі до довжини хвилі;
- Нечутливі до довжини хвилі.

Оптичні розгалужувачі підрозділяються на три категорії:

- деревовидний розгалужувач;
- відгалужувач;
- зіркоподібний розгалужувач.

Деревовидний розгалужувач - це пристрій, який здійснює розщеплення вхідного оптичного сигналу на кілька вихідних, або виконує зворотну функцію - об'єднання декількох сигналів в один вихідний. Схематичне зображення деревовидного розгалужувача представлено на рисунку 3.4.

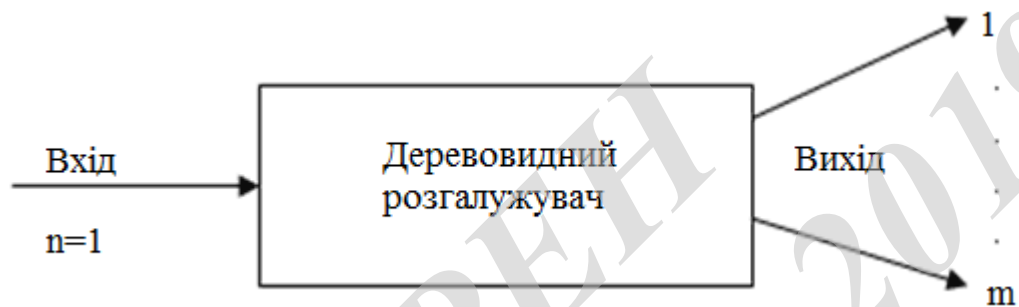


Рисунок 3.4 – Схематичне зображення деревовидного розгалужувача

Зазвичай деревовидні розгалужувачі розподіляють потужність рівною мірою між всіма вихідними полюсами. Конфігурація полюсів позначається як $n \times m$, де n - число вхідних полюсів (для деревовидного розгалужувача $n = 1$), а m - число вихідних полюсів, коли пристрій працює в режимі розщеплення. У моделях, які випускаються в даний час кількість вихідних полюсів може знаходитися в межах від 2 до 32.

За своєю конструкцією деревовидні розгалужувачі поділяють на дві основні групи:

- біконічні, в яких випромінювання передається через бічну поверхню;
- торцеві, в яких випромінювання передається через торець.

В обох групах випромінювання може передаватися або при безпосередньому контакті світловодів, або через допоміжні елементи - дзеркала, лінзи, змішувачі.

Хоча принцип розгалужувача простий, виготовити його важко втрати, що вносяться становлять 0,5 - 1,2дБ. Ця конструкція підходить як для градієнтних,

так і для східчастих ВС. Поділ мод і втрати зростають із зростанням кута, під яким з'єднані ВС.

Відгалужувач - це узагальнення деревоподібного розгалужувача, у якого вихідна потужність розподіляється необов'язково в рівній пропорції між вихідними полюсами.

Деяка частка (менше 50%) вихідної потужності йде в канали 2,3, ..., m, в той час як основна частка (більше 50%) надходить в перший вихідний канал. Вихідні полюса нумеруються в порядку убавання потужності. Конфігурації відгалужувачів бувають 1x2, 1x3, 1x4, 1x5, 1x6, 1x7, 1x8, 1x16, 1x32.

В даний час найбільшого поширення набули зварні відгалужувачі, в яких оптичні волокна, що утворюють вхідні і вихідні полюси, сплавляються в монолітну конструкцію. Цей відгалужувач діє за рахунок зв'язку між двома світловодами на відрізку невеликої довжини, на якому відсутня оболонка. Структура та хід променів в біконічному зварному відгалужувачі наведена на рисунку 3.5.

Перехідне ослаблення С14 може змінюватися від 3 до 20дБ, втрати, що вносяться А13 складають приблизно 1дБ.

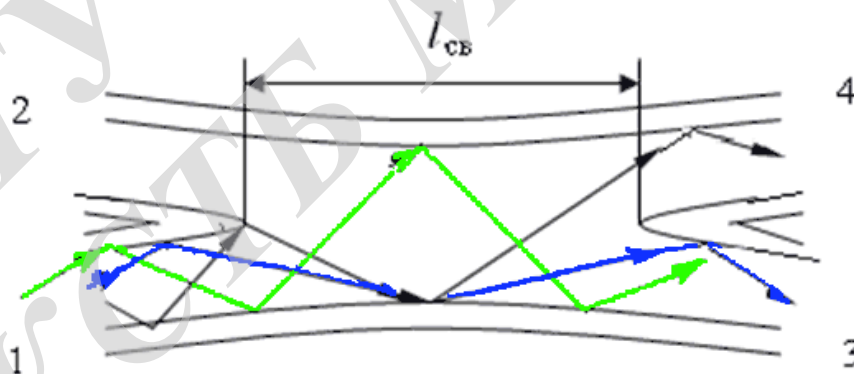


Рисунок 3.5 - Структура та хід променів в біконічному зварному відгалужувачі

Зіркоподібний розгалужувач - це пристрій який зазвичай має однакове число вхідних і вихідних полюсів. Оптичний сигнал приходить на один з n вхідних полюсів і в рівній мірі розподіляється між n вихідними полюсами. Щоб уникнути плутанини прийнято позначати вхідні полюси латинськими літерами, а вихідні полюси - цифрами. Зіркоподібні розгалужувачі розподіляють потужність

рівною мірою між всіма вихідними полюсами. На рисунку 3.6 наведено схематичне зображення зіркоподібного розгалужувача.

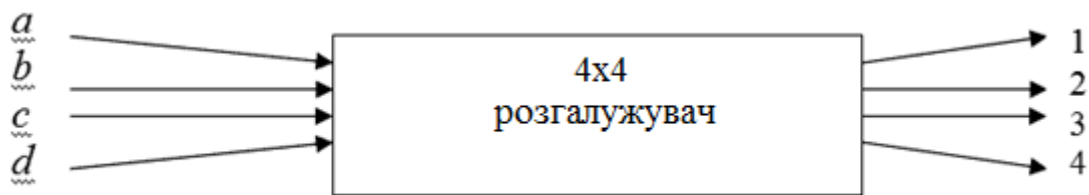


Рисунок 3.6 – Схематичне зображення зіркоподібного розгалужувача

3.4 Оптичні атенюатори та ізолятори

Атенюатором називається пристрій, призначений для зменшення (ослаблення) потужності, що надходить від джерела випромінювання [17].

Атенюатори виявляються корисними для регулювання рівня потужності з метою отримання бажаної величини сигналу. При передачі даних занадто малі рівні сигналу можуть призвести до втрат інформації (бітових помилок), а надто високі рівні - до перевантаження приймального пристрою і збою роботи системи передачі в цілому.

Атенюатори забезпечують внесене згасання в прямому напрямку $L_{пр}$ і працюють двонаправлено ($L_{пр} = L_{зв}$). Величина зниження рівня оптичної потужності може бути постійною (фіксовані атенюатори) або змінною (змінні атенюатори).

Ступінь ослаблення у фіксованому атенюаторі досягається за рахунок повітряного зазору, створюваного між торцями з'єднаних в коннекторах волокон. Конструкція атенюаторів забезпечує їх взаємозамінність. Конструкції атенюаторов різні залежно від того, в яких типах ВОЛЗ (ОМ або БМ) вони використовуються.

Фіксовані атенюатори забезпечують постійне значення внесеного загасання $L_{пр}$ певної величини з ряду: 5; 10; 15; 20дБ.

Змінні атенюатори допускають плавне регулювання величини внесеного загасання за рахунок зміни повітряного зазору за допомогою нарізного

сполучення. Вони також мають приєднувальні роз'єми, що забезпечують взаємозамінність. Діапазон плавного регулювання внесеного загасання в багатомодових змінних аттенюаторах становить 0 - 50дБ, а в одномодових - 0 - 60дБ, причому точність установки величини загасання складає близько 0,5дБ.

Розгалужувачі можна використовувати також як атенюатори. Атенюатори, як і розгалужувачі, виконуються для одного частотного вікна прозорості, тобто оптимізованими для заданого діапазону довжин хвиль (наприклад, 1310 або 1550нм), забезпечуючи рівномірне згасання в широкому діапазоні довжин хвиль ($\Delta\lambda = \pm 40\text{нм}$).

Конструктивно атенюатор являє собою плавний розгалужувач (для зменшення потужності в два рази, тобто на 3дБ) або для зменшення потужності на іншу величину.

Оптичні ізолятори і вентилялі - це пристрої, які пропускають світло в одному напрямку з малим загасанням і практично не пропускають світло в зворотному напрямку.

Додатковим параметром ізоляторів є загасання в зворотному напрямку $L_{зв}$ і вентиляльне відношення $V = L_{зв}/L_{пр}$.

Ізолятори виключають вплив відбиття прямого випромінювання на частоту і амплітуду сигналів, що генеруються напівпровідниковими лазерами та іншими джерелами випромінювання.

В основі роботи оптичного ізолятора лежить магнітооптичний ефект Фарадея. Згідно з ним відбувається поворот площини поляризації випромінювання, що проходить через магнітооптичний матеріал, що знаходиться під дією зовнішнього магнітного поля.

У діапазоні довжин хвиль $\lambda = 1,2 - 4,5\text{мкм}$ такими матеріалами є кристали рідкоземельних гранатів, що володіють дуже хорошим пропусканням і екстремально високим питомим фарадеївським обертанням площини поляризації на одиницю довжини кристала.

Поляризатори пропускають світло тільки при певній поляризації. Осередок Фарадея здійснює поворот площини поляризації на 45° . Кут повороту не залежить

від напрямку руху світла, тому при зворотному напрямку світло на виході ОФ має горизонтальну поляризацію і, отже, поляризатор 1 з вертикальною поляризацією його не пропустить. Ізолятори з ОФ мають внесене згасання $L_{пр} \approx 0.8$ дБ і ступінь ізоляції $L_{зв} \approx 40$ дБ.

В оптичних прийमाках необхідні пристрої контролю стану поляризації - поляризаційні контролери, які можуть бути виконані із застосуванням ОФ.

3.5 Мультиплексори

При створенні магістральних ліній зв'язку з великою кількістю каналів використовуються можливості, що відкриваються спектральним ущільненням або мультиплексуванням по довжинах хвиль (WDM). Сутність останнього полягає в тому, що в волоконний світловод вводиться одночасно випромінювання від декількох джерел, що працюють на різних довжинах хвиль, а на приймальному кінці за допомогою оптичних фільтрів відбувається поділ сигналів [15].

Для об'єднання і розділення оптичних носійних можуть використовуватися різні мультиплексори, робота яких заснована на відомих явищах фізичної оптики: дисперсії, дифракції, інтерференції.

Як приклад на рисунку 3.7 показана схема призменного пристрою, за допомогою якого можна як об'єднати, так і розділити оптичні носійні.



Рисунок 3.7 - Схема розділення оптичних носійних за допомогою призми.

Основним елементом такого пристрою є оптична призма, в якій за рахунок дисперсії, тобто залежності показника заломлення від довжини хвилі оптичного випромінювання, відбувається просторове розділення (або об'єднання для зворотного напрямку) оптичних носійних. Для прикладу тут показані два

оптичних канали з довжинами хвиль носійних λ_1 і λ_2 . Торець волоконного світловода (BC), по якому передається оптичне випромінювання двох каналів, розташовується в фокальній площині лінзи L_1 . Тому пучок випромінювання, що розходить з торця BC перетворюється лінзою в паралельний пучок і падає на призму. Так як випромінювання різної довжини хвилі відхиляється призмою на різні кути, то з призми виходять паралельні пучки різного напрямку (штрихові лінії). За допомогою другої фокусної лінзи L_1 ці пучки збираються в різних точках її фокальної площини і далі надходять в волоконні світловоди BC1 і BC2.

Призмові пристрої об'єднання і розділення оптичних носійних мають ряд недоліків, з яких слід виділити великі габарити, значні вносимі втрати і високу вартість. Для створення систем передачі зі спектральним розділенням оптичних каналів більш підходять пристрої, що працюють на дифракційних і інтерференційних явищах. Сюди відносяться дифракційні решітки, світлофільтри та ін.

У дифракційних решітках різні оптичні хвилі відхиляються на різні кути і таким чином здійснюється поділ чи об'єднання носійних, як показано на рисунку 3.8.

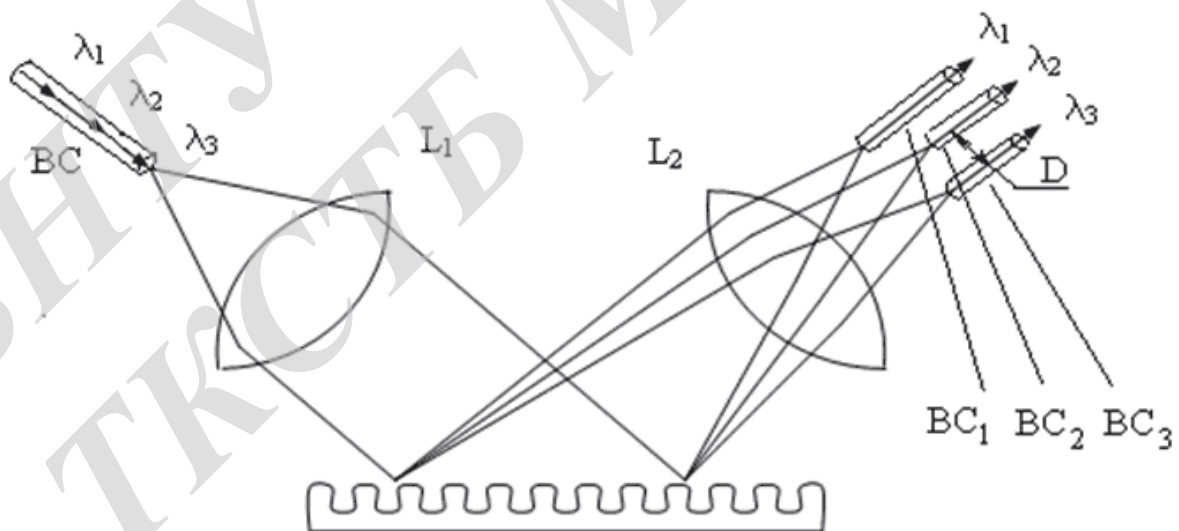


Рисунок 3.8 – Схема розділення оптичних носійних за допомогою дифракційної решітки

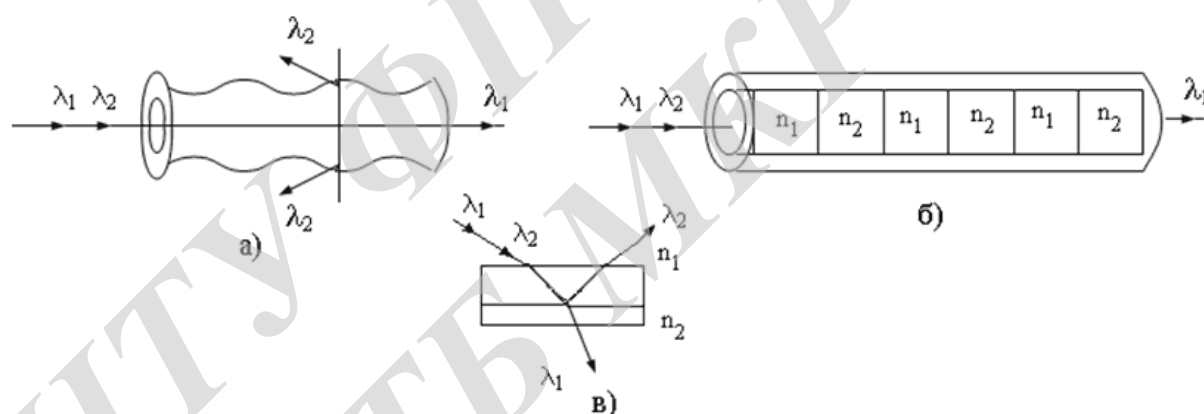
Кутова дисперсія першого порядку для решітки визначається її просторовим періодом - постійної решітки d .

Кінцева ширина спектральної лінії призводить до перекриття сусідніх каналів.

Широке застосування отримали оптичні фільтри. Дія їх заснована на дифракційних властивостях кварцового скла, тобто залежності показника заломлення від довжини хвилі $n = n(\lambda)$. Відповідно при проходженні різних хвиль через світловод з мінливим значенням n одні хвилі відбиваються, а інші проходять.

Відомо кілька модифікацій оптичних фільтрів.

Волоконний фільтр - це відрізок світловода, параметри серцевини або оболонки якого (діаметр, показник заломлення) періодично модульовані уздовж осі світловода. Такі світлопроводи володіють різко вираженими селективними властивостями: одні хвилі відбиваються, а для інших хвиль фільтр прозорий. Різні типи оптичних фільтрів представлено на рисунку 3.9.



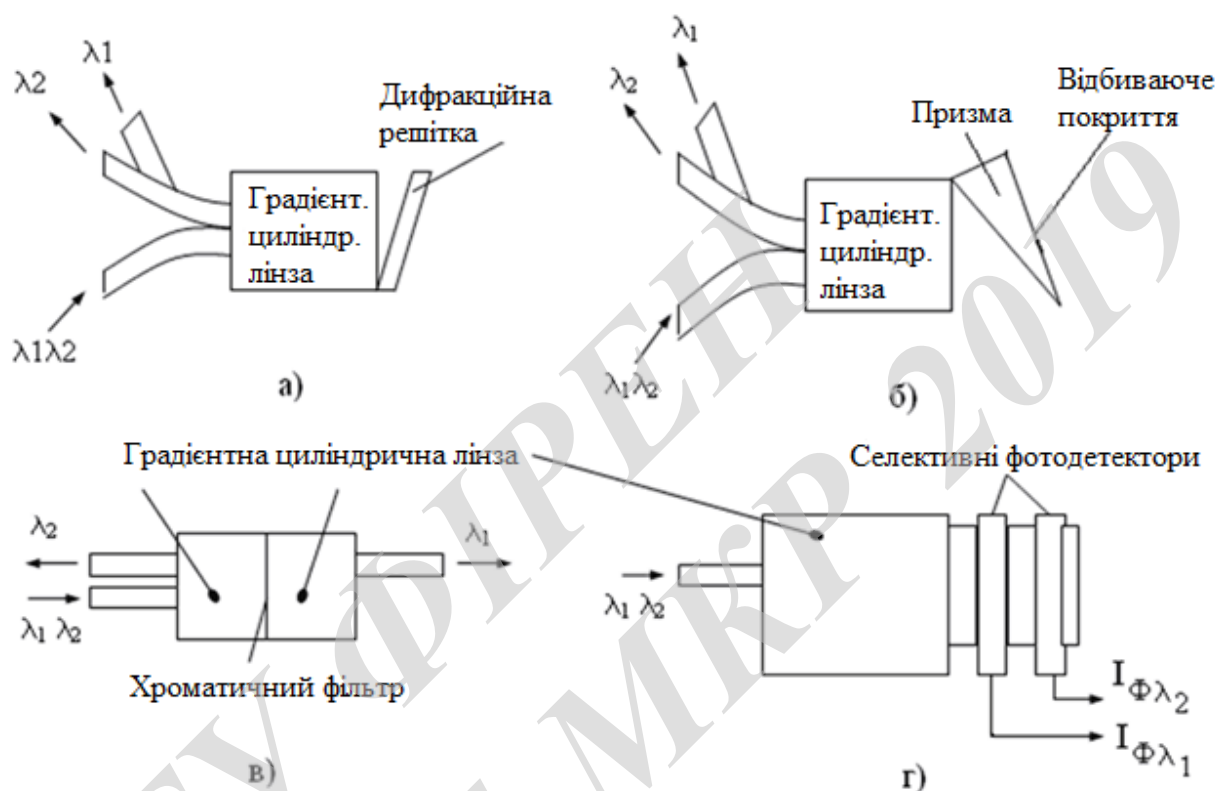
а—з модуляцією діаметра волокна; б—з модуляцією показника заломлення; в—плоска конфігурація фільтра

Рисунок 3.9 – Типи оптичних фільтрів

Плоска конструкція фільтра - це комбінація скла з різними показниками заломлення $n_1 > n_2$. При проходженні через такий фільтр випромінювання з довжиною хвилі λ_2 відчуває повне внутрішнє відбиття, а випромінювання з довжиною хвилі λ_1 проходить, так як критичні кути відбиття у них різні.

Оптичні фільтри забезпечують коефіцієнт відбиття за інтенсивністю приблизно 0,9.

Мультиплексори і демультіплексори, що щастосовуються в лініях повинні мати малі вносимі втрати, а мультиплексори, крім того, забезпечувати високий ступінь ізоляції між каналами. Залежно від довжини хвилі використовують чотири різні способи отримання пристроїв зв'язку. На рисунку 3.10 показано різні типи пристроїв зв'язку, селективних до довжини хвилі.



а–з дифракційною решіткою; б–з призмою; в–з хроматичним фільтром; г–з фотодетекторами

Рисунок 3.10 - Типи пристроїв зв'язку, селективних до довжини хвилі

В основу роботи цих пристроїв покладені три чутливих до довжини хвилі ефекти:

- дисперсія;
- інтерференція;
- поглинання.

Демультіплексори, показані на рисунку 4.10 а, б використовують кутову дисперсію решітки або призми. На рисунку 4.10 в зображена конструкція для розділення каналів за допомогою інтерференційного фільтра, а на рисунку 3.10 г -

структура поглинаючого типу, використовувана як демультіплексор. Кожен поглинач складається з чутливого до довжини хвилі фотодіода.

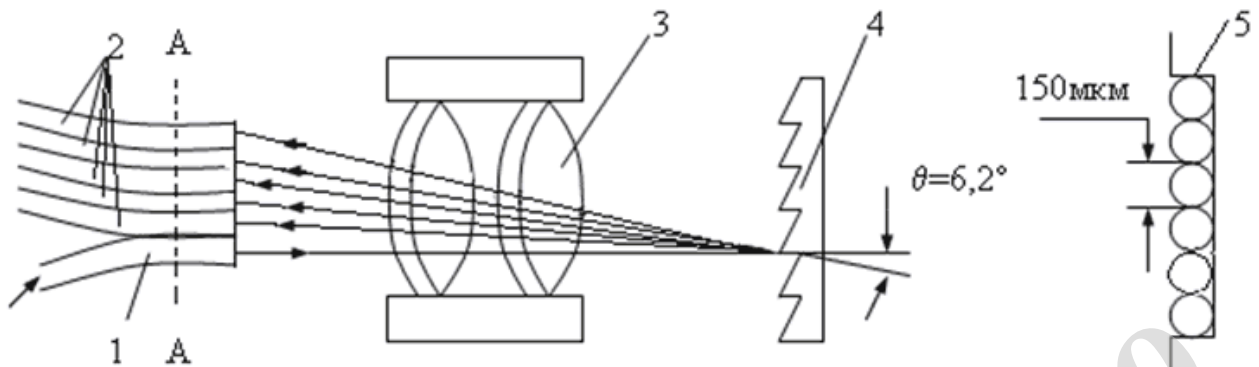
Пристрої з решіткою і призмою є дільниками з паралельним розділенням каналів, а пристрої, які використовують фільтри і селективні фотодетектори - з послідовним.

Послідовний поділ застосовується при невеликому числі каналів, так як з ростом числа каналів пропорційно збільшується число елементів схеми (світлофільтрів, діляльних пластин, дзеркал, фокусуючих елементів) і відповідно зростають втрати на випромінювання. Найбільш широко використовуються пристрої з хроматичним фільтром. Демультіплексори такого типу реалізуються і в повністю волоконному виконанні без використання циліндричних лінз. У розрізі передавального волоконного світловода розташований фільтр, чутливий до довжини хвилі.

Паралельний поділ можливо здійснити як для малого, так і для великого (кілька десятків) числа спектрально ущільнених носійних в одному ВС. Паралельні деталі являють собою мініспектрометр. Як і спектрометр, дільник має диспергуючий елемент (решітку або призму), колімуючий елемент (об'єктив або увігнуте дзеркало), а також вхідний і вихідний ланцюг (роль яких виконують серцевини випромінюючого та приймальних волоконних світловодів). Схема з призмою не отримала широкого розповсюдження, оскільки призма обмежує можливість мініатюризації пристрою і характеризується низькою дисперсією в діапазоні довжин хвиль 1,1-1,6 мкм. Матеріали для виготовлення призм зі значною кутовою дисперсією мають великі втрати. Крім того, дисперсія призм не постійна за спектром. Найбільшого поширення набули пристрої з дифракційними решітками.

Прикладом демультіплексора з решіткою є п'ятиканальний демультіплексор, зображений на рисунку 3.11. Випромінюючий і п'ять прийомних ВС об'єднані в лінійку, розташовану в фокальній площині об'єктива (фокусна відстань 23,8мм, діаметр 14мм). Випромінювання з передавального ВС колімується об'єктивом, дифрагує на решітці і знову потрапляє в об'єктив, який

в залежності від довжини хвилі фокусує випромінювання на той чи інший приймальний ВС.



1–вхідний ВС; 2–вихідні ВС; 3–об’єктив; 4–дифракційна решітка; 5–розріз AA

Рисунок 3.11 –Схема п’ятиканального демультиплексора

Решітка має несиметричні канавки. Параметри решітки (постійна решітки $d = 4\text{ мкм}$, кут $\Theta = 6,2^\circ$) вибрані так, щоб її максимальна дифракційна ефективність досягалася на центральній довжині хвилі $\lambda_0 = 0,86\text{ мкм}$ робочого діапазону $\lambda = 0,82\text{--}0,88\text{ мкм}$. Спектральний інтервал між каналами дорівнює $\Delta\lambda = 25\text{ нм}$. У всьому діапазоні дифракційна ефективність становить не більше 90%, внесені втрати на розгалуженні не перевищують $A_{1n} = 4\text{ дБ}$, перехідні ослаблення - $C_{1n} = 30\text{ дБ}$.

Щільне мультиплексування по довжинах хвиль (DWDM) - це різновид хвильового мультиплексування (WDM), при якому спектральний інтервал між сусідніми довжинами хвиль $\Delta\lambda$ становить 1,6 нм і менше.

Мультиплексорам DWDM (на відміну від більш традиційних WDM) притаманні дві відмінні риси:

- малі інтервали $\Delta\lambda$ між мультиплексованими каналами (1,6-0,8 або 0,4 нм).
- використання тільки одного вікна прозорості 1550 нм в межах області підсилення оптичного підсилювача (1530-1560 нм).

Крім того, оскільки мультиплексори DWDM розраховані на роботу з великим числом каналів (до 32-х і більше), з'явилися нові пристрої, що не мають аналогів в системах WDM. Через малі інтервали між каналами і необхідності роботи з великим числом каналів одночасно, виготовлення мультиплексорів DWDM вимагає значно більшої прецизійності в порівнянні з WDM-

мультиплексорами. Також важливо забезпечити високу спрямованість і розв'язку на полюсах DWDM-пристроїв. Все це призводить до більш високої вартості DWDM-пристроїв в порівнянні з WDM.

4.6 Ретранслятори

За методом підсилення оптичного сигналу ретранслятори поділяються на дві категорії [16]:

- повторювачі;
- оптичні підсилювачі.

У волоконно-оптичних системах локальних мереж повторювачі значно більше поширені, ніж оптичні підсилювачі, в той час як при побудові оптичних магістралей оптичні підсилювачі відіграють першорядну роль.

Повторювач - це електронно-оптичний пристрій, який перетворює оптичний сигнал в електричну форму, посилює, коригує, а потім перетворює назад в оптичний сигнал. Структурна схема електронно-оптичного повторювача та форма оптичного і електричного сигналів наведено на рисунку 3.12 [17].

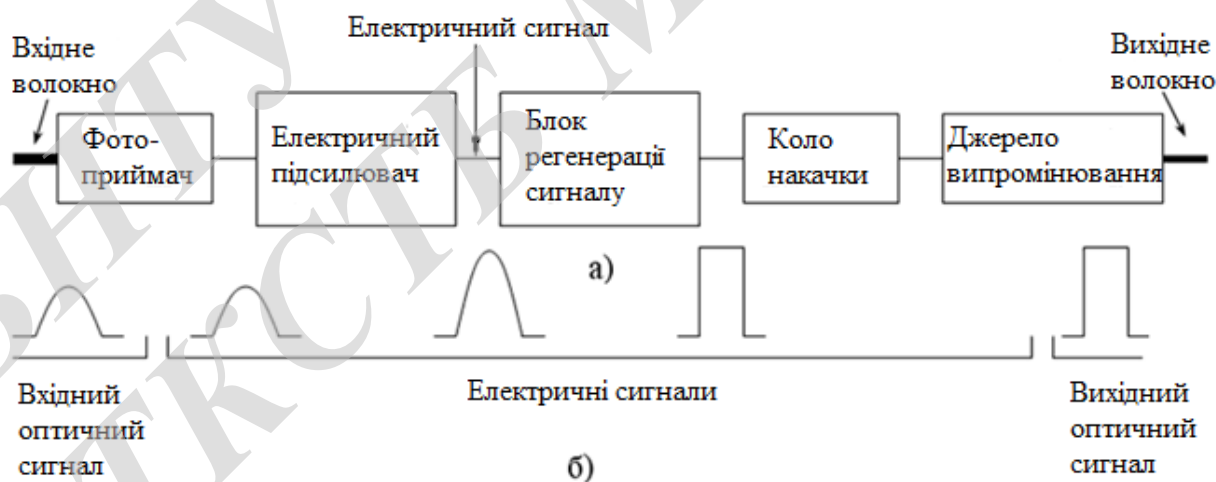


Рисунок 3.12 – Структурна схема електронно-оптичного повторювача (а) та форма оптичного і електричного сигналів (б)

Можна представити повторювач як послідовно з'єднані приймальний і передавальний оптичний модулі. Аналоговий повторювач, в основному, виконує

функцію підсилення сигналу. При цьому разом з корисним сигналом посилюється також вхідний шум.

Однак при цифровій передачі повторювач поряд з функцією підсилення може виконувати функцію регенерації сигналу.

Зазвичай блок регенерації охоплює ланцюг прийняття рішення і таймер. Блок регенерації відновлює прямокутну форму імпульсів, усуває шум, ресинхронізує передачу так, щоб вихідні імпульси потрапляли у відповідні часові інтервали. Повторювач може і не містити таймера і відновлювати прямокутну форму імпульсів за певним порогом, незалежно від того, на якій швидкості ведеться передача. Такі повторювачі застосовуються в локальних мережах.

У локальних мережах поширені повторювачі, що перетворюють сигнали з багатомодового в одномодове волокно і навпаки. Такі повторювачі отримали назву конвертери. Широко поширені ОМ/БМ конвертери на 100, 155 і 622 Мбіт/с.

Оптичний підсилювач (ОП), на відміну від повторювача, не здійснює оптоелектронного перетворення, а відразу підсилює оптичний сигнал. Структурна схема оптичного підсилювача наведена на рисунку 3.13.

ОП не здатні проводити регенерацію оптичного сигналу. Вони в рівній мірі підсилюють як вхідний сигнал, так і шум. Крім того, вноситься власний шум у вихідний оптичний канал. ОП використовують принцип індукованого випромінювання, аналогічно лазерам. Існують декілька типів оптичних підсилювачів. Розглянемо два з них.

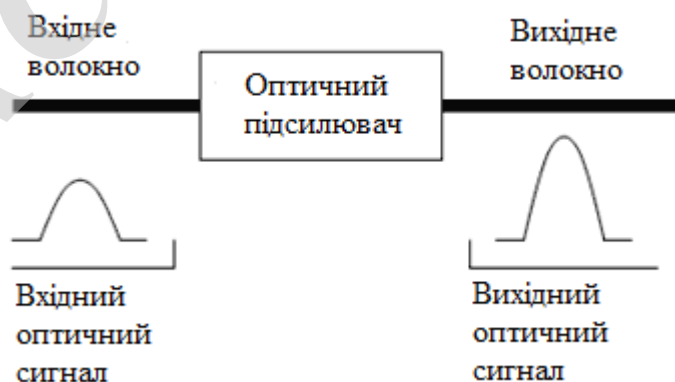


Рисунок 3.13 – Структурна схема оптичного підсилювача

Основу напівпровідникового підсилювача складає активне середовище, аналогічне тому, яке використовується в напівпровідникових лазерах. У НПП відсутні дзеркальні резонатори, характерні для напівпровідникових лазерів. Для зменшення Френелівського відображення з обох сторін активного середовища наноситься спеціальне покриття, що просвітлюється товщиною $\lambda/4$. Структурна схема оптичного напівпровідникового підсилювача наведена на рисунку 3.14.

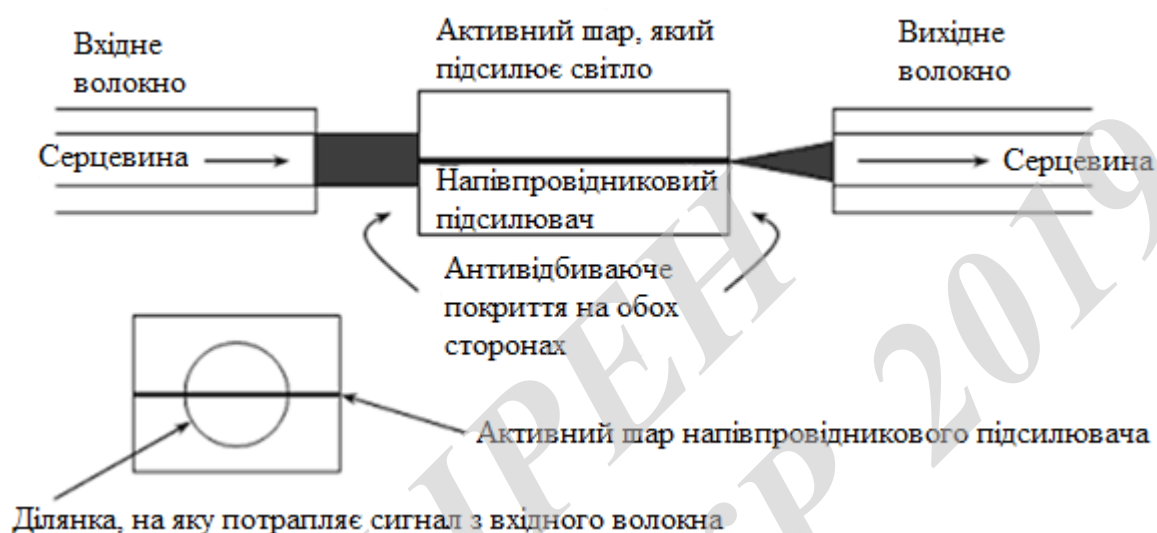


Рисунок 3.14 – Структурна схема оптичного напівпровідникового підсилювача

Напівпровідникові підсилювачі поки не отримали такого широкого розповсюдження, як підсилювачі на домішковому волокні. Справа в тому, що НПУ властиві два суттєвих недоліки.

Перший недолік пов'язаний з тим, що світловипромінюючий активний шар має ширину кілька мікрометрів. Це багато менше, ніж діаметр світлоносійної частини оптичного волокна (приблизно 9мкм - для одномодового волокна). Внаслідок цього більша частина світлового потоку, що виходить з волокна, не потрапляє в активну область і втрачається, що зменшує ККД підсилювача. Збільшити ККД можна, поставивши між вхідним волокном і активним середовищем лінзу, але це призводить до ускладнення конструкції.

Другий недолік пов'язаний з тим, що коефіцієнт підсилення НПП залежить від напрямку поляризації і може відрізнятись на 4-8дБ для двох ортогональних поляризацій. Це небажано, так як в стандартному одномодовому волокні поляризація розповсюдженого світлового сигналу не контролюється.

Потужність світлового потоку даної поляризації може флюктувати уздовж довжини. Звідси випливає, що коефіцієнт підсилення НПП залежить від неконтрольованого фактора.

Два наведених недоліки мають менше значення в тих випадках, коли НПП інтегрований з іншими оптичними пристроями. І саме так переважно використовуються НПП. Одна з можливостей - виробництво поєданого світловипромінюючого лазерного діода, безпосередньо на виході якого встановлюється НПП.

На рисунку 3.15 показана реалізація джерела мультиплексованого багатохвильового випромінювання, в якому НПП використовується як широкосмуговий підсилювач.

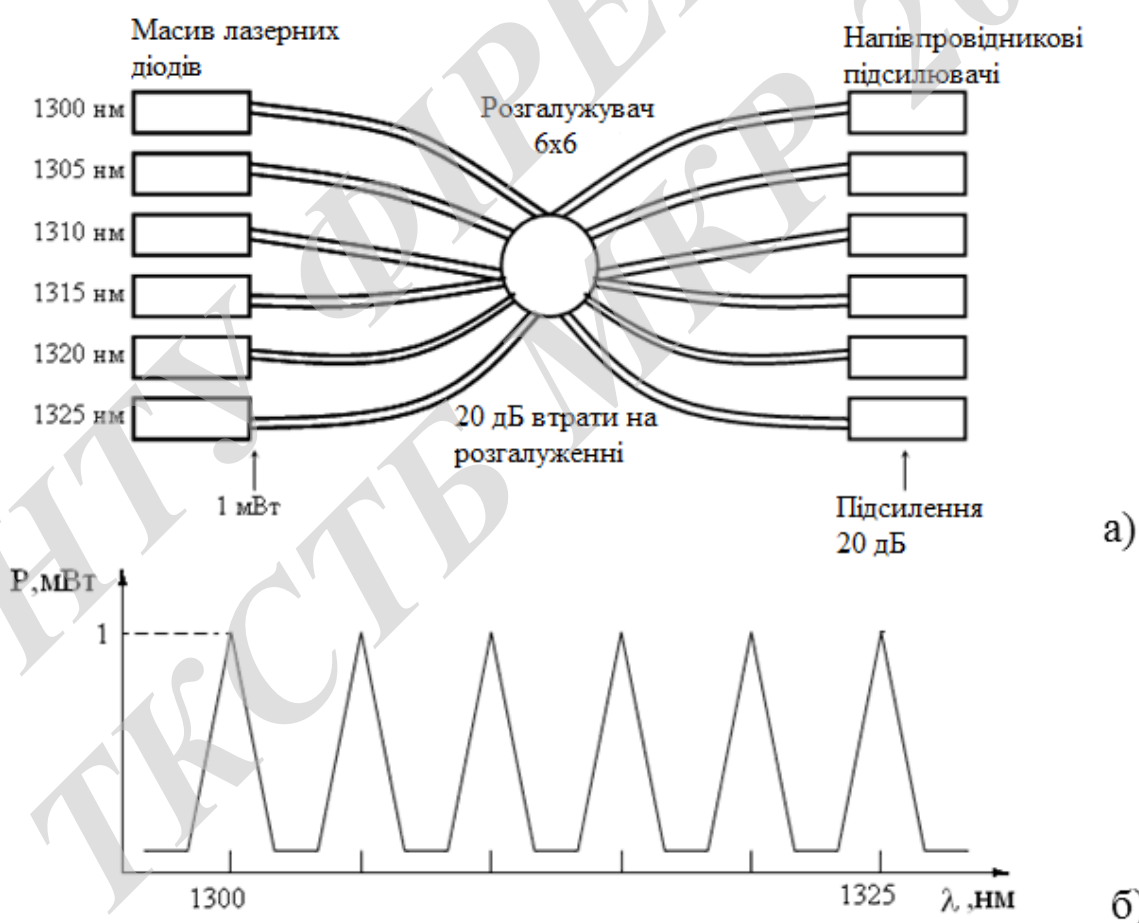


Рисунок 3.15 – Структурна схема джерела мультиплексованого випромінювання (а) і форма світлових сигналів лазерів (б)

Кілька вузькосмугових напівпровідникових лазерів на різних довжинах хвиль генерують світлові сигнали, які розгалужуються і комутуються за

допомогою оптичного розгалужувача. НПП встановлюється на кінцевій ділянці, щоб посилити ослаблені після розгалуження оптичні сигнали.

Цей тип оптичного підсилювача найбільш широко поширений і є ключовим елементом в технології повністю оптичних мереж, оскільки він дозволяє підсилювати сигнал в широкому спектральному діапазоні. На рисунку 3.16 приведена схема підсилювача на домішковому волокні.

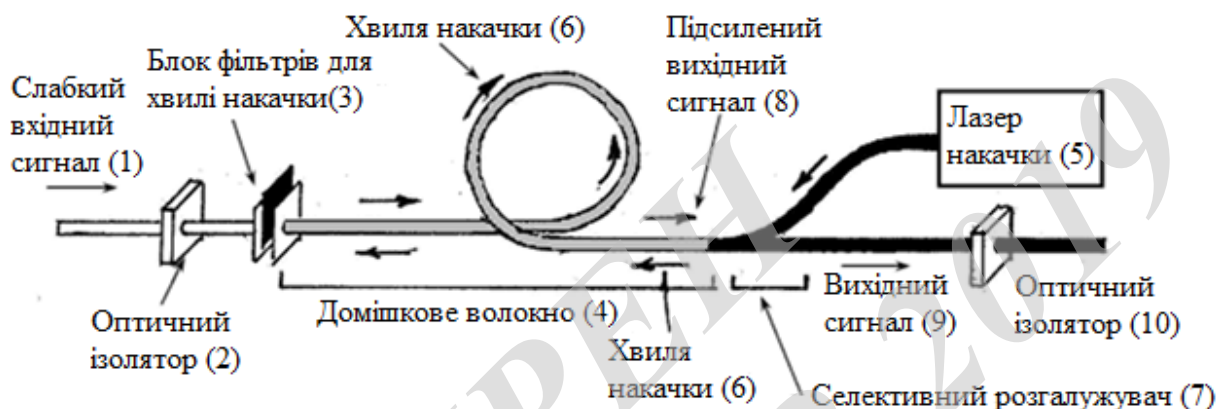


Рисунок 3.16 – Структурна схема оптичного підсилювача на домішковому волокні

Слабкий вхідний оптичний сигнал (1) проходить через оптичний ізолятор (2), який пропускає світло в прямому напрямку - зліва направо, але не пропускає відбите світло у зворотному напрямку. Далі проходить через блок фільтрів (3), який блокує світловий потік на довжині хвилі накачки, але прозорий до довжини хвилі сигналу. Потім сигнал потрапляє в котушку з волокном, легованим домішкою з рідкоземельних елементів (4). Довжина такої ділянки волокна становить кілька метрів. В цю ділянку волокна надходить інтенсивне безперервне випромінювання накачування від напівпровідникового лазера (5) з коротшою довжиною хвилі. Світло від лазера накачування (6) збуджує атоми домішок. Збуджені атоми мають великий час спонтанного переходу в основний стан. Однак при наявності зовнішнього слабого оптичного сигналу відбувається індукований перехід атомів домішок із збудженого стану в основний з випромінюванням світла на тій же довжині хвилі і з тією ж самою фазою, що і зовнішній сигнал. Селективний розгалужувач (7) перенаправляє підсилений сигнал (8) в вихідне волокно (9). Додатковий оптичний ізолятор на виході (10) запобігає потраплянню

зворотного відбитого сигналу з вихідного сегмента в активну область оптичного підсилювача.

Активним підсилюючим середовищем підсилювача є, як правило, одномодове волокно, серцевина якого легується домішками рідкоземельних елементів з метою створення трирівневої атомної системи.

Лазер накачування збуджує електронну підсистему домішкових атомів. В результаті чого електрони з основного стану (рівень А) переходять в збуджений стан (рівень В). Далі відбувається релаксація електронів з рівня В на проміжний рівень С. Коли заселеність рівня С стає досить високою, так що утворюється інверсія населеностей рівня С, система здатна індуковано посилювати вхідний оптичний сигнал в певному діапазоні довжин хвиль. Якщо ж вхідний сигнал відсутній, то відбувається спонтанне випромінювання збуджених атомів домішок, що приводить до шуму.

Особливості роботи підсилювачів багато в чому залежать від типу домішок і від діапазону довжин хвиль, в межах якого він повинен посилювати сигнал. Найбільш широко поширені підсилювачі, в яких використовується кварцове волокно, леговане ербієм. Такі підсилювачі отримали назву EDFA (Erbium Doped Fiber Amplifier) - оптичний підсилювач на волокні, легованому ербієм. Міжатомна взаємодія є причиною дуже важливого позитивного фактора - розширення рівнів, що, в кінцевому підсумку, забезпечує підсилювачу широку зону підсилення сигналу. У EDFA найбільш широка зона підсилення від 1530 до 1565нм.

3.7 Оптичні комутатори

Оптична комутація принципово відрізняється від механічної комутації потоків. При механічній комутації час спрацьовування складає десятки мілісекунд (в середньому від 20 до 50мс). При оптичній комутації час спрацьовування визначається перехідними процесами в електричному ланцюзі управління оптичного комутатора і звичайно на кілька порядків менше.

Оптичний комутатор - це один з найбільш важливих елементів повністю оптичної мережі, без якого неможливо будувати масштабовані архітектури. Більшість основних конструкцій оптичних комутаторів повинно мати, принаймні, два виходи. Основними параметрами комутатора є [14]:

- швидкість перемикання;
- керуюча напруга;
- перехресні завади;

В даний час використовуються різноманітні типи оптичних комутаторів [15]:

- спрямовані відгалужувачі;
- мостовий балансовий інтерферометр;
- комутатор на перехресних хвилеводах.

В основі роботи оптичного комутатора використовується лінійний електрооптичний ефект Поккельса, який полягає в зміні показника заломлення матеріалу пропорційно напруженості прикладеного електричного поля.

Основні принципи роботи легше розглянути на найпростішому чотириполюснику - розгалужувачі-комутаторі. Схема сплавного розгалужувача Х-типу показана на рисунку 3.17.

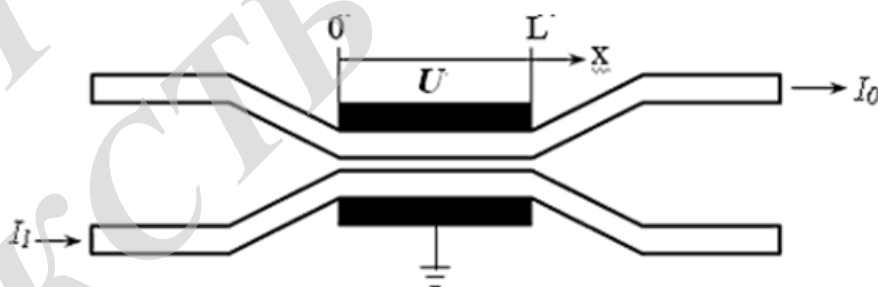


Рисунок 3.17 – Схема сплавного розгалужувача Х-типу

Випромінювання інтенсивності I_1 , введене в один хвилевід, проникає в інший (I_0) за рахунок зв'язку двох хвилеводів. Погонний коефіцієнт зв'язку k залежить від параметрів хвилеводу (різниці показників заломлення серцевини n_1 й оболонки n_2), довжини хвилі λ і ширини зазору g між хвилеводами.

Прикладаючи електричну напругу U до електродів, розташованих з боків або зверху, чи знизу хвилеводів, можна регулювати фазову розстройку за рахунок лінійного електрооптичного ефекту (ефекту Поккельса).

Ще одна реалізація розгалужувача-комутатора 2×2 , що складається з двох послідовних X-розгалужувачів представлена на рисунку 3.18.

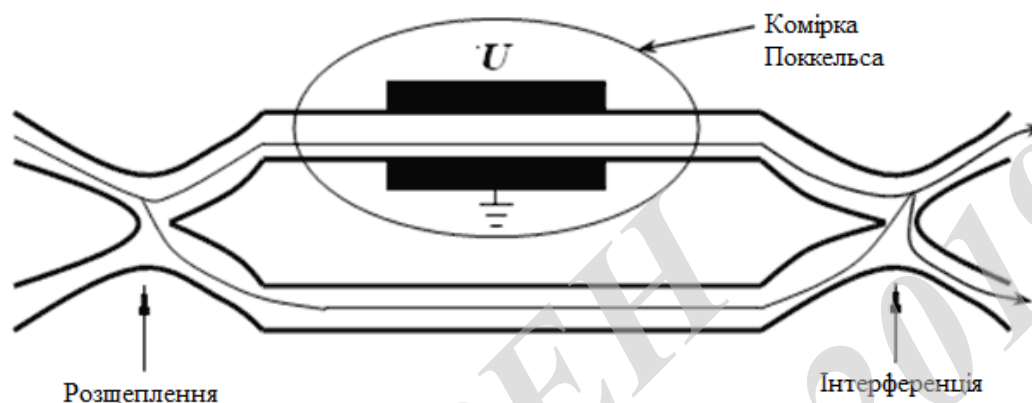


Рисунок 3.18 – Схема двохплечового оптичного розгалужувача-комутатора

3.8 Хвильові конвертери

В рамках концепції повністю оптичних мереж хвильовий конвертер здійснює оптичне перетворення довжини хвилі вхідного сигналу в іншу довжину хвилі, що необхідно для комутації сигналу в багатоканальних лініях зв'язку з ущільненням по довжинах хвиль. Принцип дії такого перетворення, також відомого як λ -конверсія, заснований на ефектах нелінійної взаємодії вихідного оптичного сигналу зі спеціальним сигналом від лазера накачування, в результаті чого утворюється випромінювання нової довжини хвилі. Це перетворення на відміну від оптоелектронних перетворень не вносить затримки і здатне працювати аж до дуже високих частот модуляції (10 Гбіт/с і вище).

Періодична структура з почерговою зміною напрямків поляризації збільшує ефективність хвильового перетворення. При одночасному поширенні вхідного сигналу і сигналу від лазера накачування відбувається генерація світла на частоті, що дорівнює різниці частоти хвилі накачування і вхідного сигналу.

На рисунку 3.19 показано схема хвильового конвертера та приклад експериментальних профілів потужності вхідного ($\lambda_s = 1536\text{нм}$) і вихідного ($\lambda_s = 1545\text{нм}$) сигналів при довжині хвилі накачування $\lambda_p = 770\text{нм}$, отриманих з використанням такої періодичної структури. Основні фізичні параметри системи: потужність лазера накачування 10мВт; діапазон довжин хвиль перебудови лазера накачування - 100нм; повна довжина кристалічної структури 10мм.

Як видно з рисунка 3.19 на виході хвильового конвертера спостерігається оптичний сигнал з іншою довжиною хвилі.

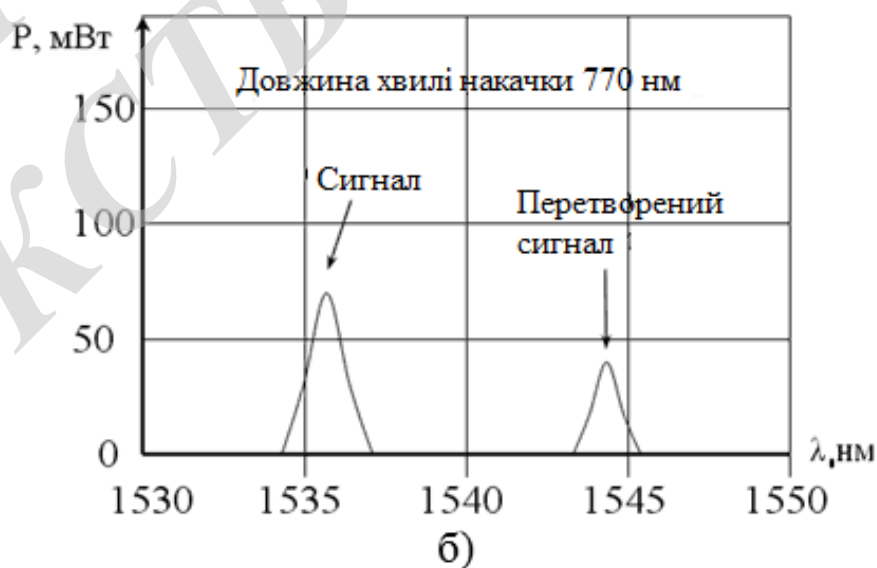
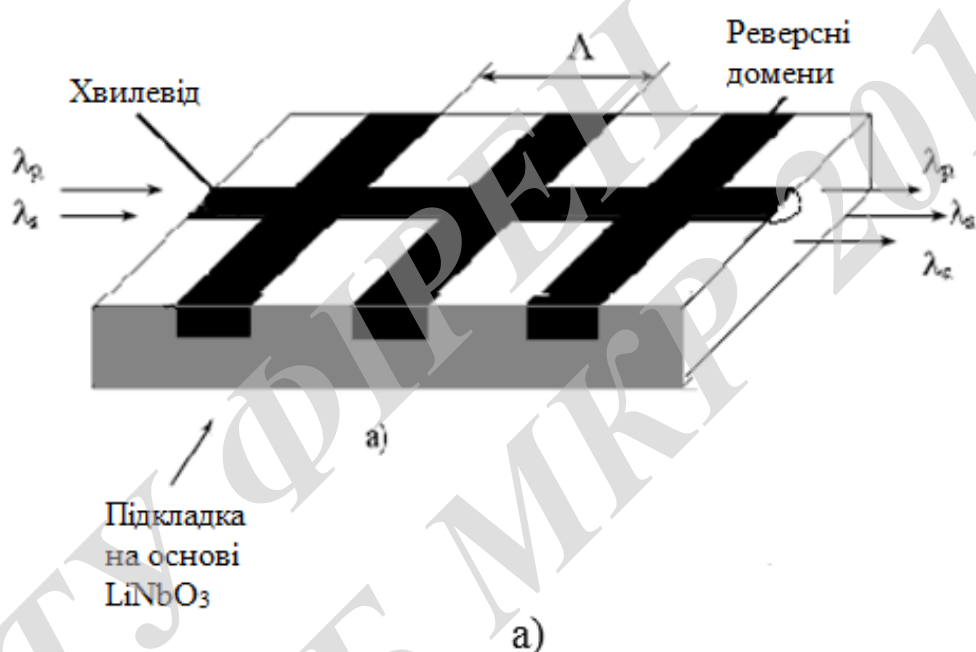


Рисунок 3.19 – Схема (а) та профілі потужності вхідного і вихідного сигналів хвильового конвертера (б)

Висновки

В даному розділі було розглянуто основні пристрої, які використовуються в ВОЛЗ. До таких пристроїв можна віднести пристрої введення та виведення інформації, з'єднувачі, розгалужувачі, атенюатори, ізолятори, мультиплексори, ретранслятори, комутатори, та хвильові конвертери.

ВНТУ ФІРЕН
ТКСТЬ МКР 2019

4 КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

4.1 Обґрунтування програмного пакету для моделювання

Для проведення моделювання скористаємось програмним пакетом GainMaster™.

GainMaster™ це програмний пакет, призначений для допомоги інженерам у проектуванні ербієвих оптичних підсилювачів EDFA, зменшення кількості часу, необхідного для проведення успішної розробки підсилювача. Програмне забезпечення дозволяє схематично зобразити оптичний підсилювач за допомогою графічного інтерфейсу та промоделювати роботу ділянки волоконно-оптичної лінії зв'язку, на якій відбувається підсилення.

Інтерфейс за допомогою якого здійснюється зв'язок користувача з комп'ютером, являється дуже простим у використанні. Доступ до більшості програм GainMaster™, здійснюється шляхом вибору відповідних опцій або через головне меню на екрані або через підменю. Для швидкого переміщення по меню чи прискореного переходу по його ієрархії використовуються різні комбінації клавіш.

Системні вимоги GainMaster™ наведено в таблиці 4.1 [18].

Таблиця 4.1 - Системні вимоги GainMaster™

Комп'ютер процесор	і 86- або 64-розрядний процесор із тактовою частотою 1 ГГц або більше, що підтримує SSE2.
Пам'ять	1 ГБ оперативної пам'яті (для 32-розрядної версії).
Жорсткий диск	500 МБ вільного дискового простору.
Дисплей	роздільна здатність екрана 1024 x 768.
Відеоадаптер	Для апаратного прискорення обробки зображення потрібен відеоадаптер, що підтримує технологію DirectX 10.
Операційна система	Windows 7, Windows 8, Windows Server 2008 R2 або Windows Server 2012.
Версія .Net	3.5, 4.0 або 4.5.

4.2 Аналіз результатів комп'ютерного моделювання

Наведемо результати моделювання згасання, яке вноситься такими вузлами системи широкосмугового доступу на основі ВОЛЗ:

- оптичні з'єднувачі;
- оптичні розгалужувачі;
- оптичні ізолятори;
- оптичні мультиплексори;
- оптичні демультиплексори;
- оптичні підсилювачі.

Моделювання всіх вузлів виконується для довжин хвиль 1530-1565 нм. На рисунку 4.1 наведено схему для моделювання оптичних з'єднувачів.

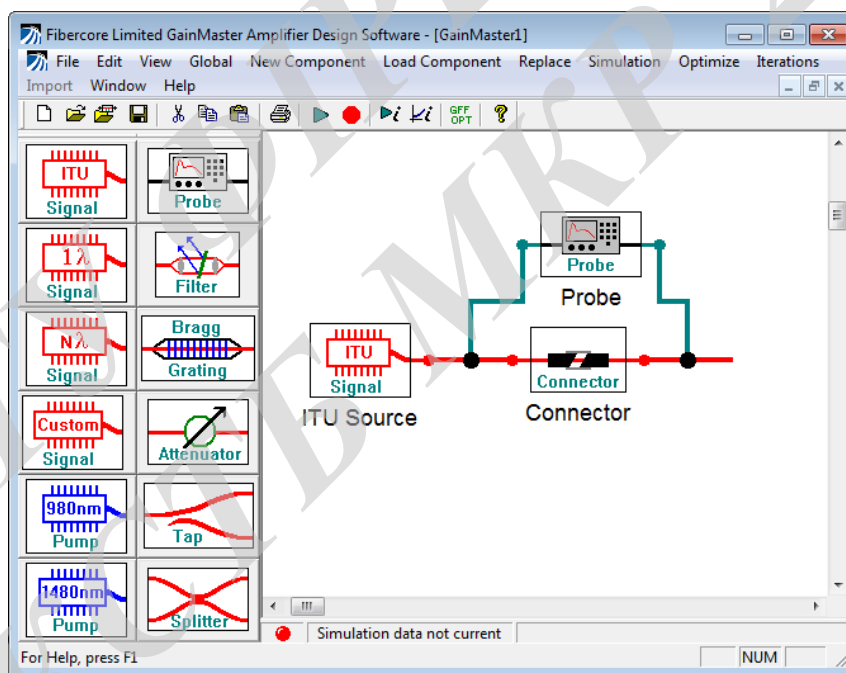


Рисунок 4.1 – Схема для моделювання оптичних з'єднувачів

На рисунку 4.2 показано внесене згасання оптичного з'єднувача в залежності від довжини хвилі.

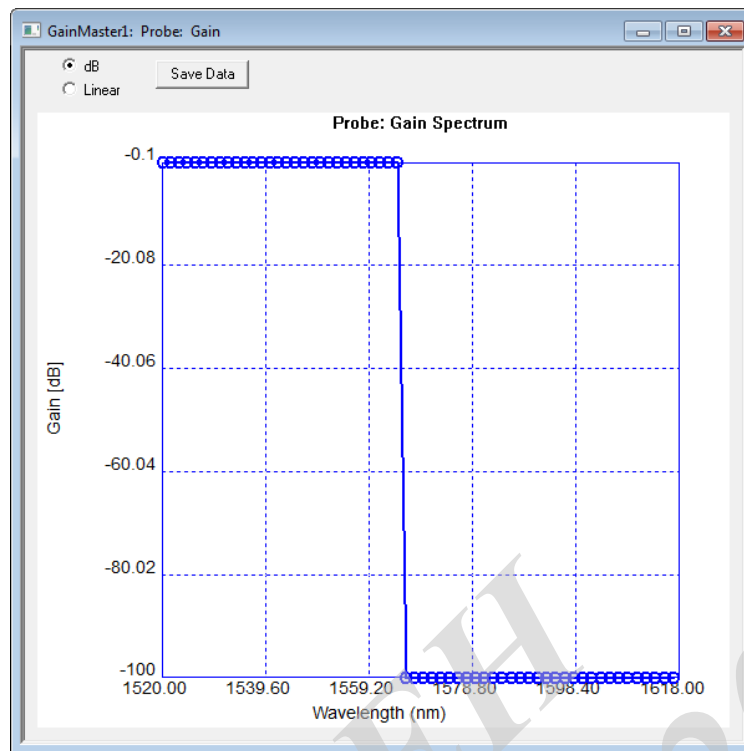


Рисунок 4.2 – Внесене згасання оптичного з'єднувача

На рисунку 4.3 наведено шуми, які вносяться на оптичному з'єднувачі в залежності від довжини хвилі.

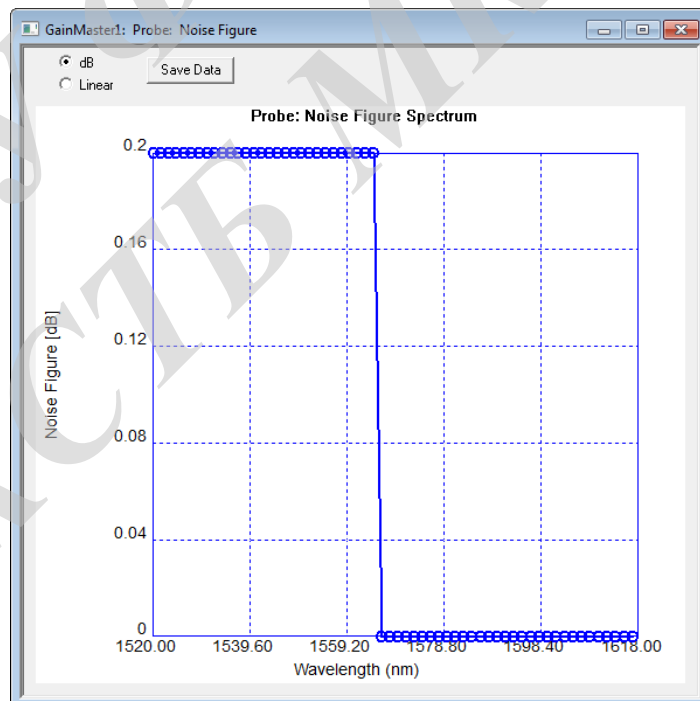


Рисунок 4.3 – Шуми, які вносяться на оптичному з'єднувачі

Як видно із результатів моделювання оптичний конектор вносить згасання 0,1 дБ та шуми 0,2 дБ.

Схема моделювання оптичного розгалужувача наведена на рисунку 4.4.

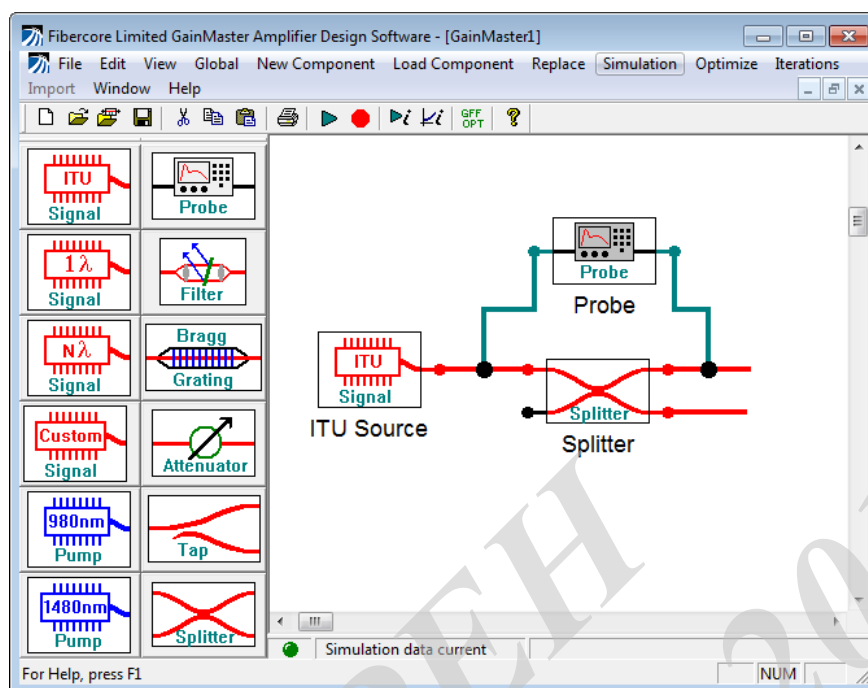


Рисунок 4.4 – Схема моделювання оптичного розгалужувача

На рисунку 4.6 наведено шуми, які вносяться розгалужувачем при проходженні сигналу зі входу на перший вихід, залежно від довжини хвилі.

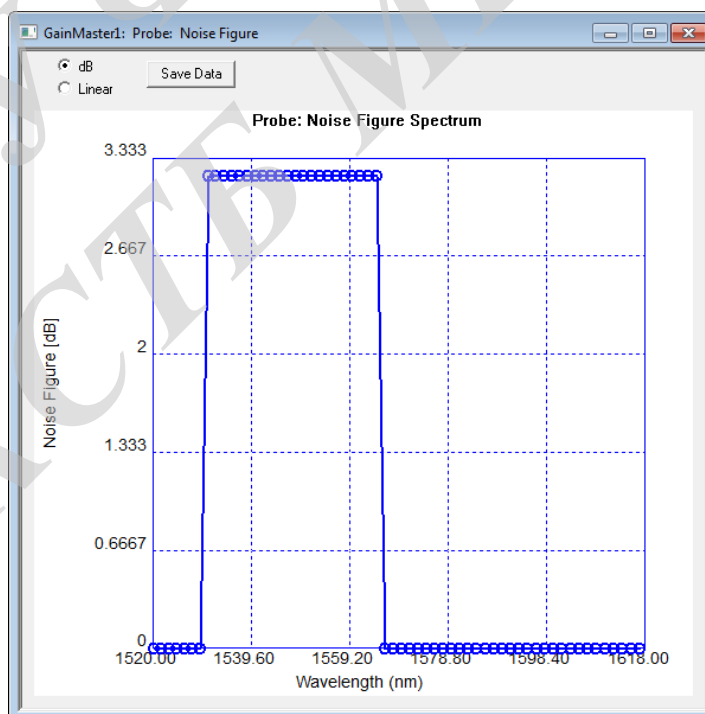


Рисунок 4.6 – Шуми які вносяться оптичним розгалужувачем

На рисунку 4.7 наведено згасання, яке вноситься розгалужувачем при проходженні сигналу зі входу на другий вихід, залежно від довжини хвилі.

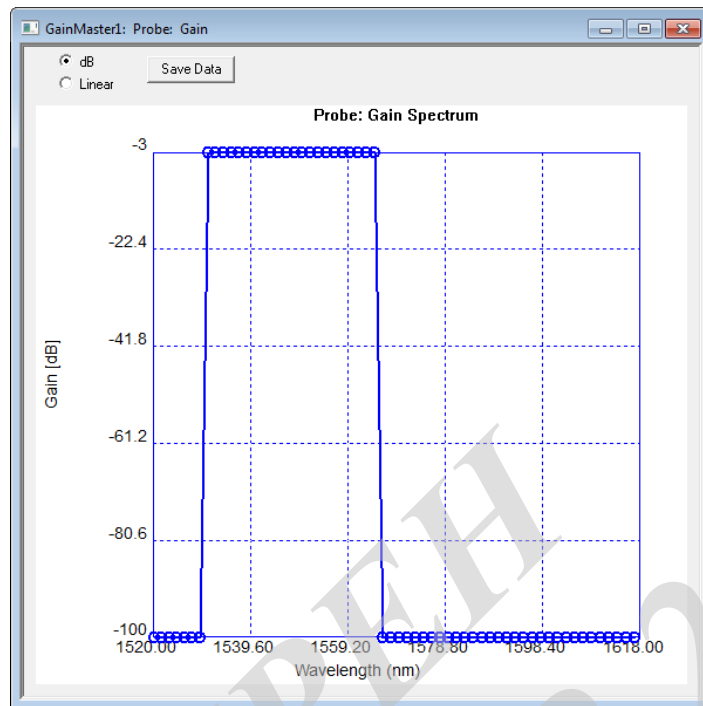


Рисунок 4.7 – Згасання оптичного сигналу на розгалужувачі С12

Як видно із результатів моделювання, оптичний розгалужувач вносить однакове згасання сигналу як при проходженні сигналу з входу на перший вихід так і при проходженні сигналу зі входу на другий вихід, яке становить 3 дБ. Таким чином можна зробити висновок, що розгалужувачі розподіляють потужність рівною мірою між всіма вихідними полюсами.

Схема моделювання оптичного ізолятора наведена на рисунку 4.8.

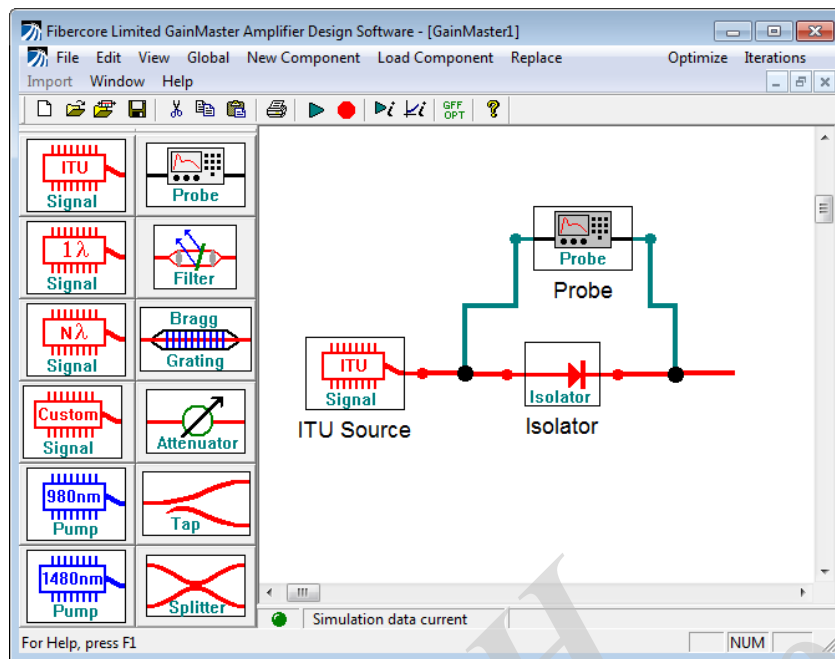


Рисунок 4.8 – Схема моделювання оптичного ізолятора
Визначимо згасання яке вносить ізолятор при прямому проходженні сигналу. На рисунку 4.9 наведено результати моделювання.

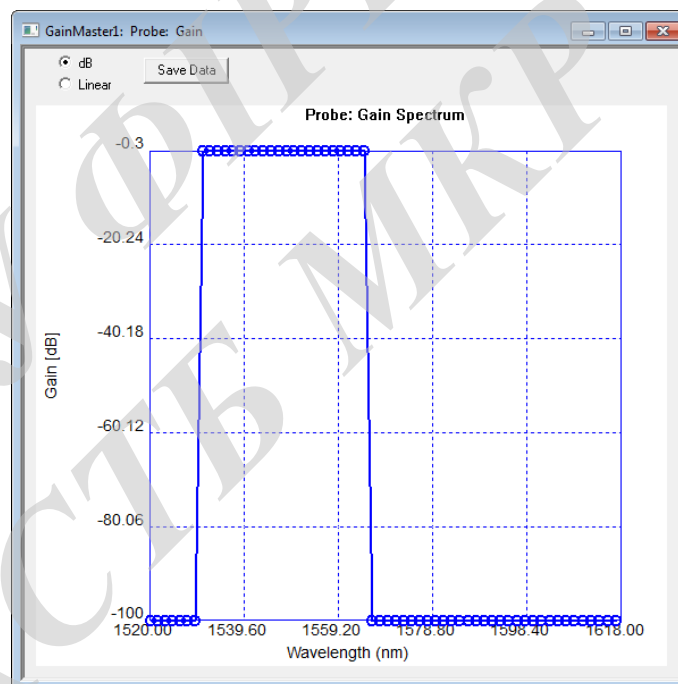


Рисунок 4.9 – Згасання в ізоляторі при прямому проходженні сигналу

Визначимо згасання яке вносить ізолятор при зворотному проходженні сигналу. На рисунку 4.10 наведено результати моделювання.

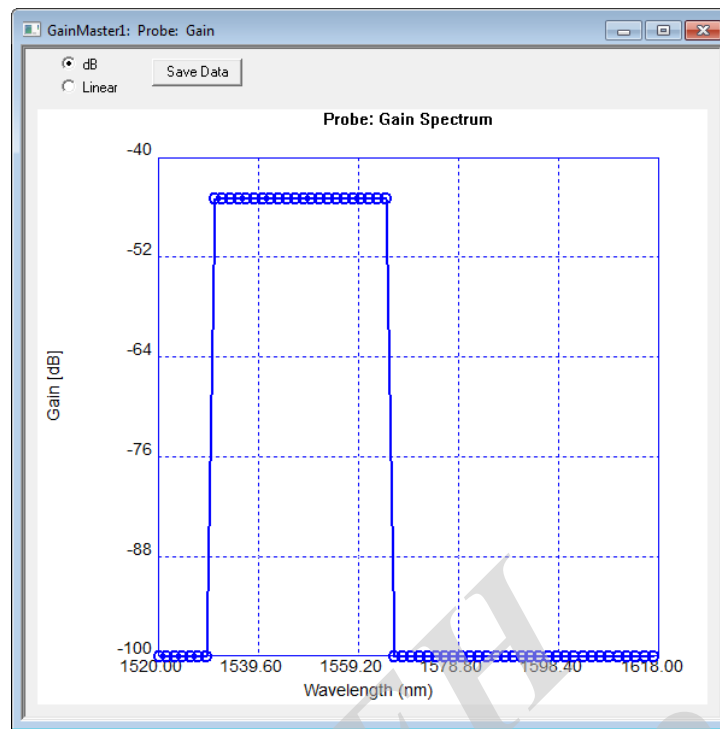


Рисунок 4.10 – Згасання в ізоляторі при зворотному проходженні сигналу

Як видно з результатів моделювання при прямому проходженні сигнал згасає на 0,3 дБ, а при зворотному – на 45 дБ. Отже, оптичний ізолятор забезпечує захист від зворотного сигналу.

Схема моделювання оптичного мультиплексора зображена на рисунку 4.11.

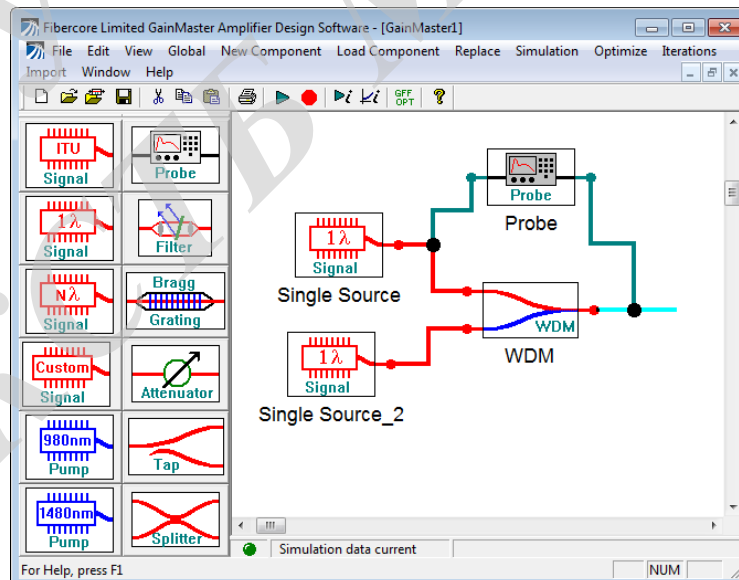


Рисунок 4.11 – Схема моделювання оптичного мультиплексора

На рисунку 4.12 зображено спектр сигналу, який подається на перший вхід мультиплексора.

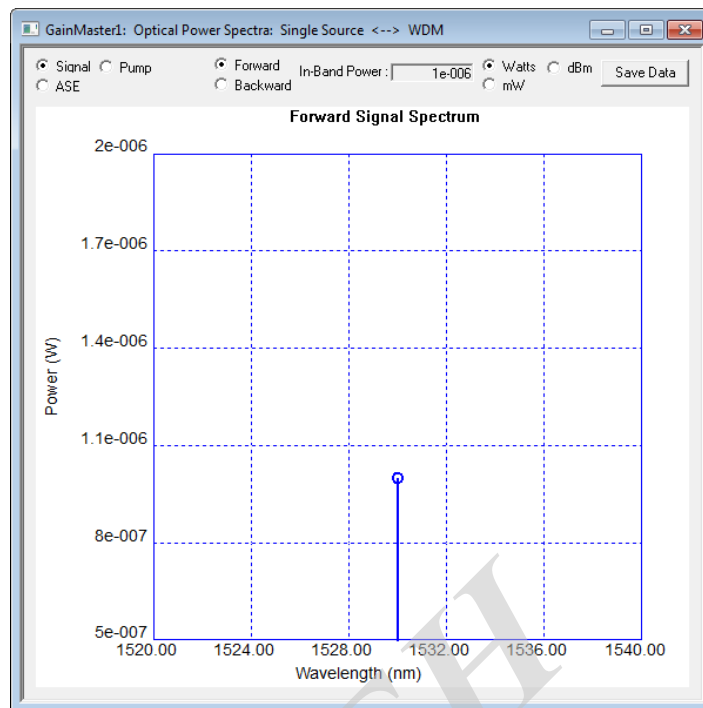


Рисунок 4.12 – Спектр сигналу, який надходить на перший вхід мультиплексора
 На рисунку 4.13 наведено спектр сигналу, який надходить на другий вхід мультиплексора

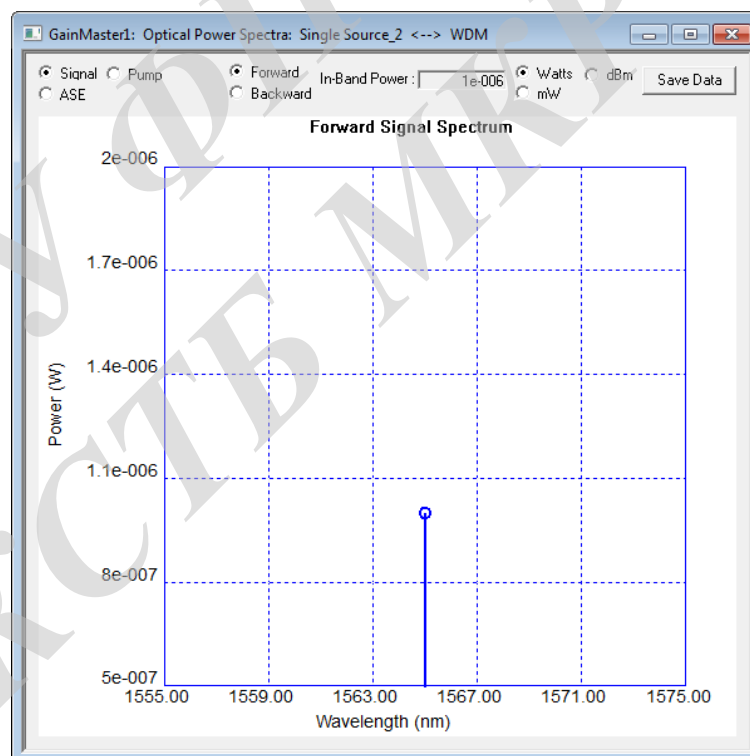


Рисунок 4.13 – Спектр сигналу, який надходить на другий вхід мультиплексора

На рисунку 4.14 показано спектр вихідного сигналу мультиплексора.

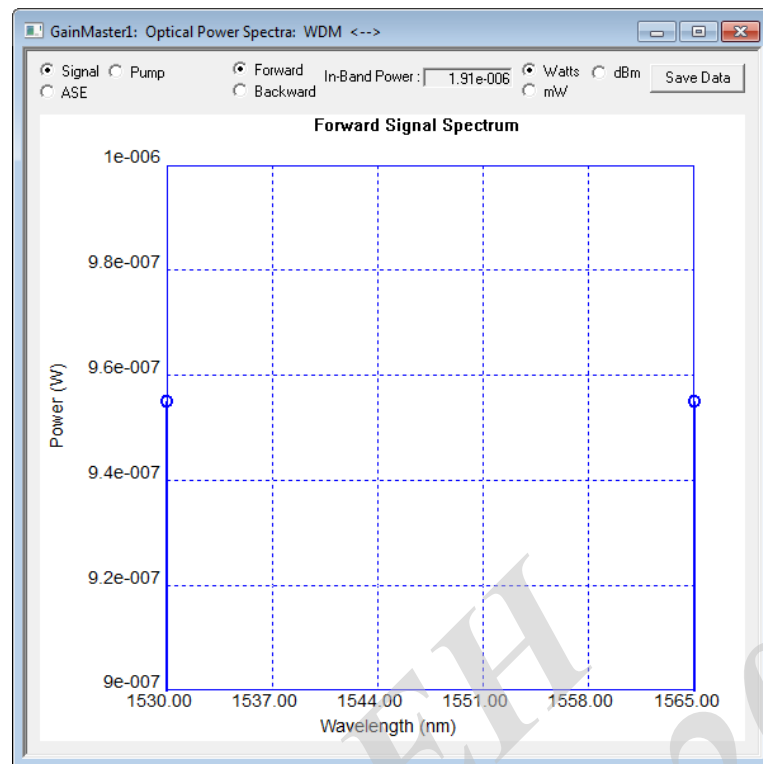


Рисунок 4.14 – Спектр вихідного сигналу мультиплексора

На рисунку 4.15 наведено згасання, які вносить мультиплексор в залежності від довжини хвилі

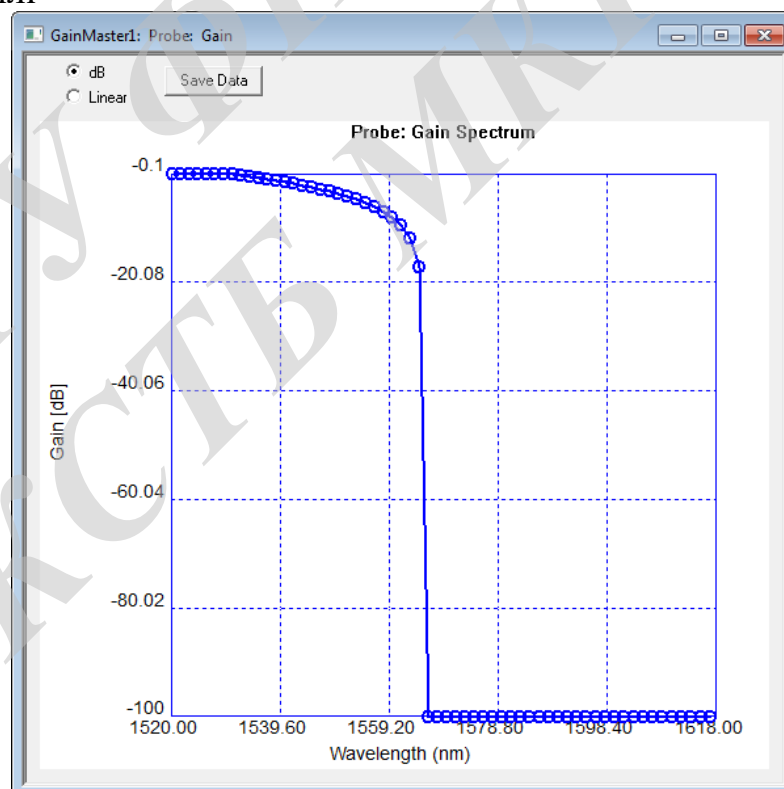


Рисунок 4.15 – Згасання, які вносить мультиплексор в залежності від довжини хвилі

Як видно з результатів моделювання мультіплексор забезпечує об'єднання кількох вхідних сигналів в один потік.

На рисунку 4.16 наведено схему для моделювання оптичного демультиплексора.

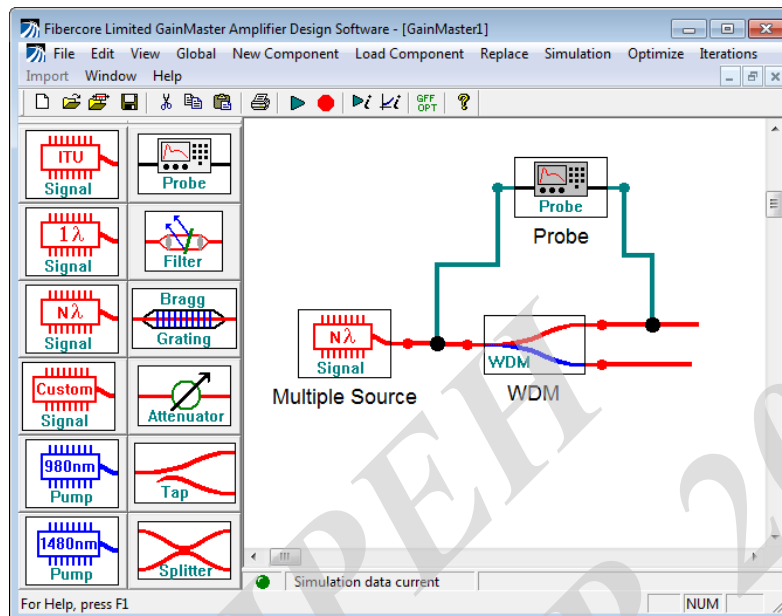


Рисунок 4.16 – Схема моделювання оптичного демультиплексора

На рисунку 4.17 наведено вхідний сигнал оптичного демультиплексора

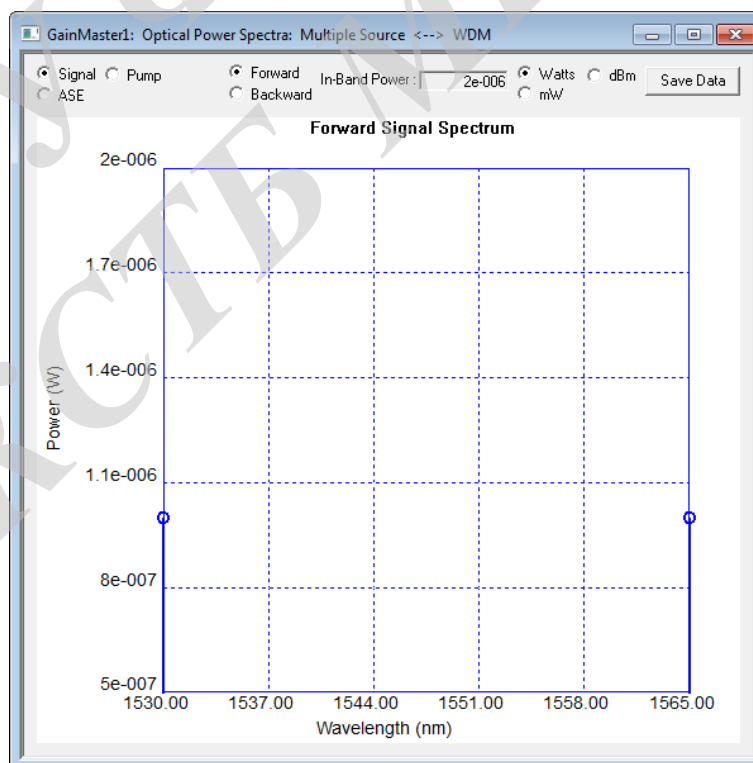


Рисунок 4.17 – Вхідний сигнал оптичного демультиплексора

На рисунках 4.18 та 4.19 наведено спектр сигналу відповідно на першому та на другому виходах демультиплексора.

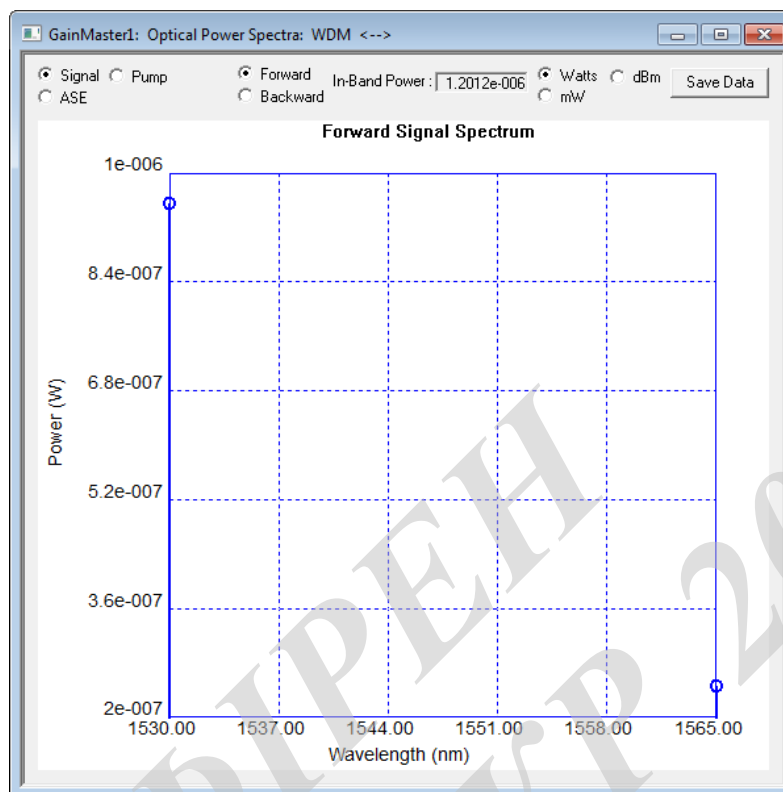


Рисунок 4.18 – Спектр сигналу на першому виході демультиплексора

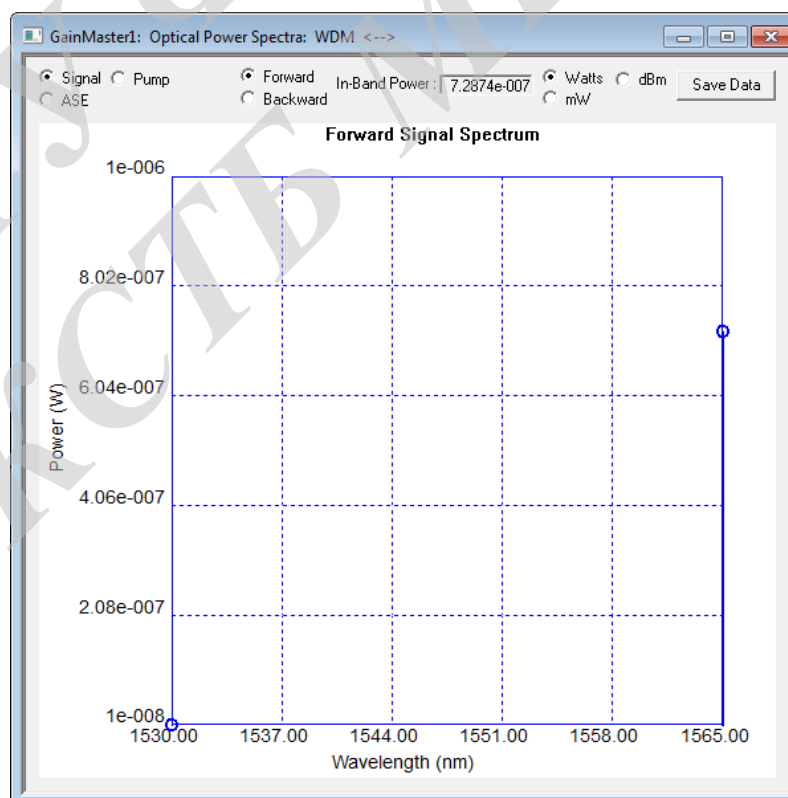


Рисунок 4.19 – Спектр сигналу на другому виході демультиплексора

На рисунку 4.20 наведено схему для моделювання оптичного підсилювача.

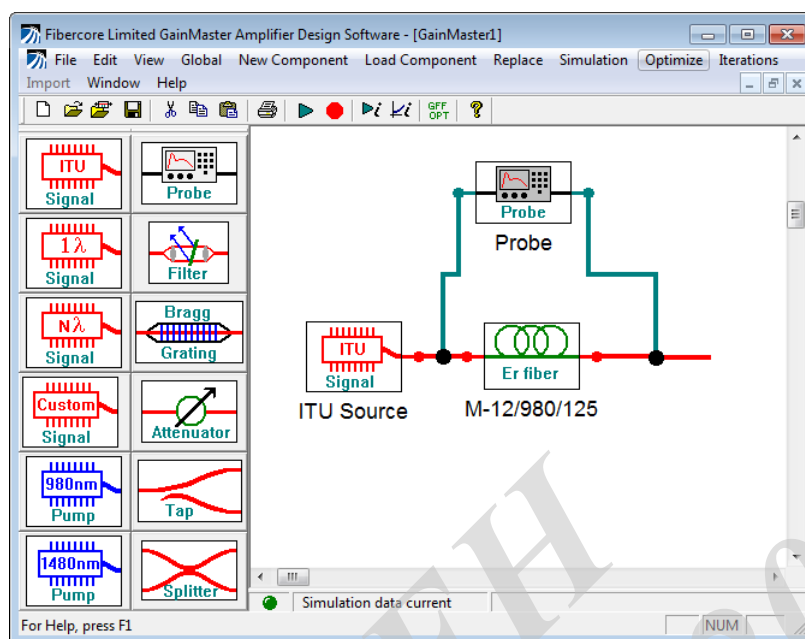


Рисунок 4.20 – Схема для моделювання оптичного підсилювача

На рисунку 4.21 наведено спектр сигналу на вході підсилювача.

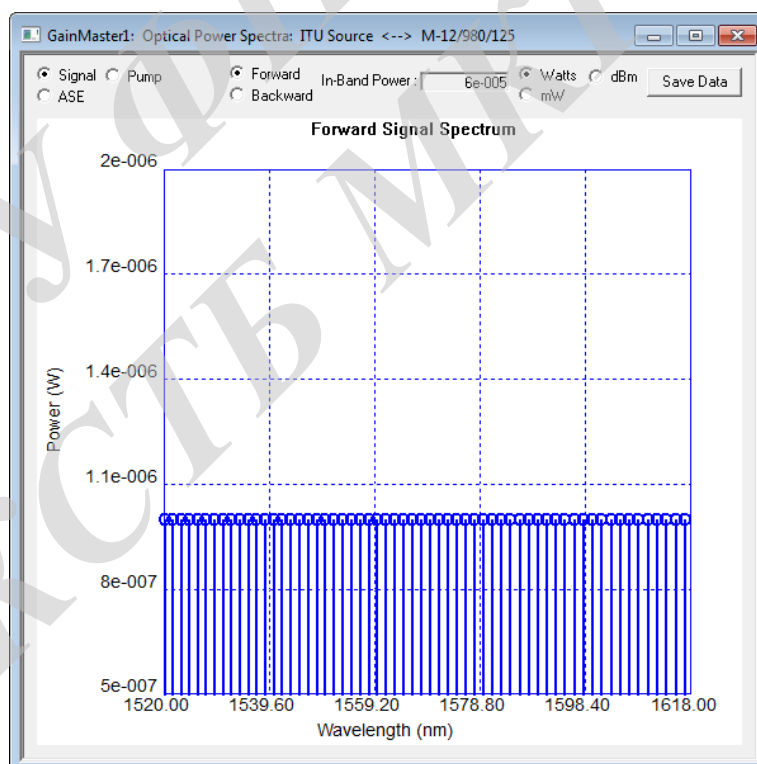


Рисунок 4.21 – Спектр сигналу на вході підсилювача

На рисунку 4.22 наведено спектр сигналу на виході підсилювача

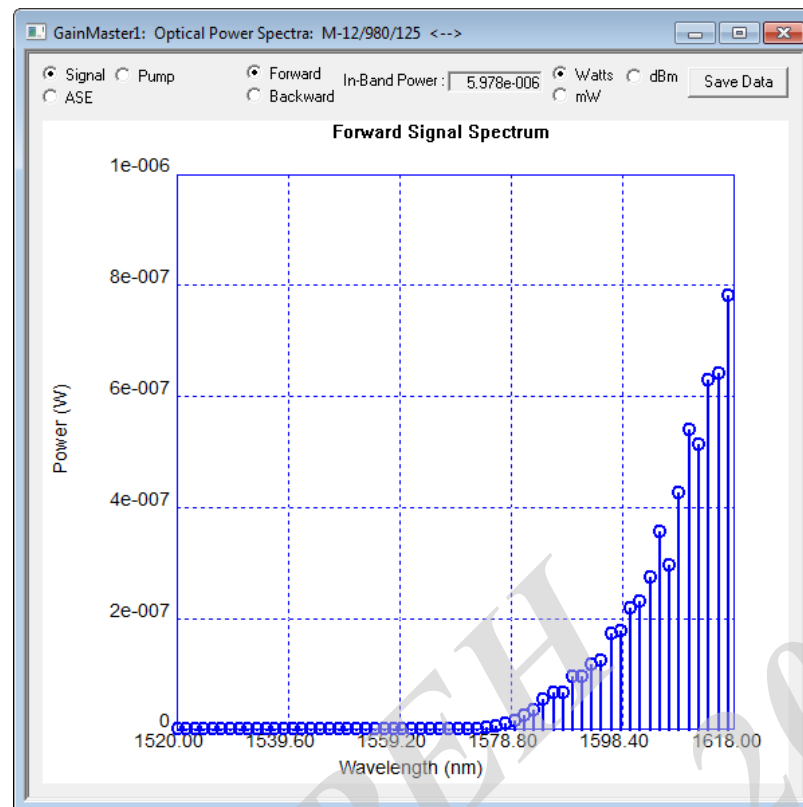


Рисунок 4.22 – Спектр сигналу на виході підсилювача

На рисунку 4.23 наведено залежність коефіцієнта підсилення, а на рисунку 4.24 - залежність шумів підсилювача від довжини хвилі.

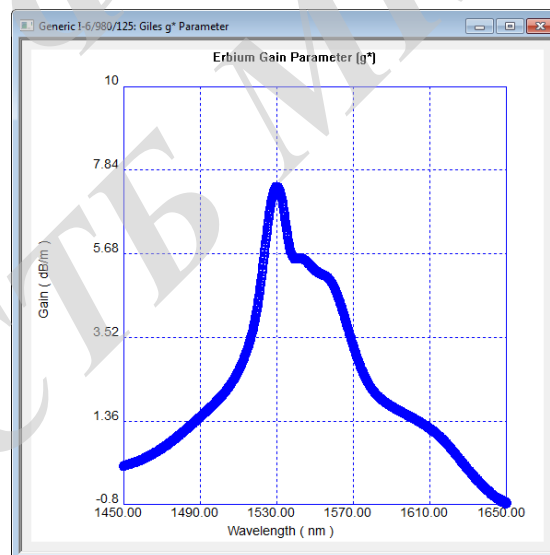


Рисунок 4.23 – Залежність коефіцієнта підсилення від довжини хвилі

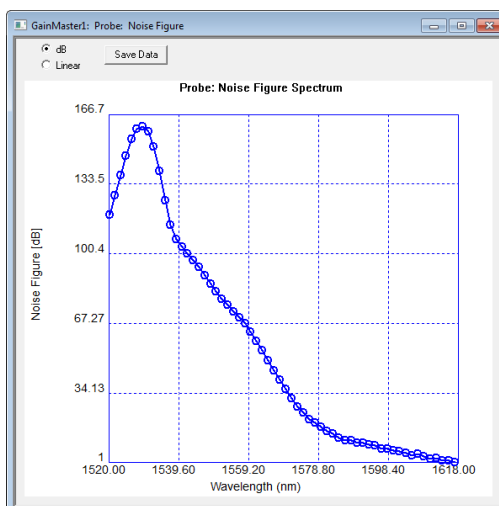


Рисунок 4.24 – Залежність шумів підсилювача від довжини хвилі

Як видно із результатів моделювання підсилювач забезпечує підсилення сигналу в 4 рази, для заданої смуги довжин хвилі 1530-1565 нм.

Висновки

Результати комп'ютерного моделювання пристроїв, які використовуються у системі широкосмугового доступу на базі ВОЛЗ, показали, що всі вони виконують свої функції з прийнятними характеристиками. Зокрема, видно, що підсилювач забезпечує підсилення сигналу в 4 рази, для заданої смуги довжин хвилі 1530-1565 нм. Найбільше згасання вноситься оптичними розгалужувачами.

5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

5.1 Визначення рівня комерційного потенціалу розробки системи широкосмугового доступу на основі волоконно-оптичних ліній зв'язку

Метою проведення технологічного аудиту є оцінювання комерційного потенціалу розробки системи широкосмугового доступу на основі волоконно-оптичних ліній зв'язку, створеної в результаті науково-технічної діяльності. В результаті оцінювання можна буде зробити висновок щодо напрямів (особливостей) організації подальшого її впровадження з врахуванням встановленого рейтингу.

Для проведення технологічного аудиту залучимо 3-х незалежних експертів. У нашому випадку такими експертами будуть керівник магістерської роботи та провідні викладачі випускової та споріднених кафедр.

Оцінювання комерційного потенціалу розробки системи широкосмугового доступу на основі волоконно-оптичних ліній зв'язку будемо здійснювати за 12-ю критеріями згідно рекомендацій.

Результати оцінювання комерційного потенціалу розробки системи широкосмугового доступу на основі волоконно-оптичних ліній зв'язку заносимо до таблиці 5.1.

Таблиця 5.1. - Результати оцінювання комерційного успіху розробки системи широкосмугового доступу на основі волоконно-оптичних ліній зв'язку

Критерії	Експерти		
	Барась С.Т., к.т.н., професор	Семенова О.О., к.т.н., доцент	Стальченко О.В., к.т.н., доцент
1	2	2	3
2	3	3	4
3	4	2	2
4	3	3	3
5	2	4	3
6	3	3	4

7	4	2	3
8	3	2	2
9	2	2	3
10	3	3	3
11	4	4	3
12	3	3	2
Сума балів	37	33	35
Середньоарифметична сума балів, СБ	35		

За даними таблиці 5.1 робимо висновок щодо рівня комерційного потенціалу розробки системи широкосмугового доступу на основі волоконно-оптичних ліній зв'язку. При цьому користуємося рекомендаціями, наведеними в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Рівні комерційного потенціалу розробки

Середньоарифметична сума балів, розрахована на основі висновків експертів	Рівень комерційного потенціалу розробки
0 – 10	Низький
11 – 20	Нижче середнього
21 – 30	Середній
31 – 40	Вище середнього
41 – 50	Високий

Таким чином, робимо висновок, щодо рівня комерційного потенціалу нашої розробки системи широкосмугового доступу на основі волоконно-оптичних ліній зв'язку – вище середнього.

5.2 Визначення рівня якості розробки системи широкосмугового доступу на основі волоконно-оптичних ліній зв'язку

Оцінювання рівня якості розробки системи широкосмугового доступу на основі волоконно-оптичних ліній зв'язку проводиться з метою порівняльного

аналізу і визначення найбільш ефективного, з технічної точки зору, варіанта інженерного рішення.

Абсолютний рівень якості розробки системи широкосмугового доступу на основі волоконно-оптичних ліній зв'язку знаходимо обчисленням вибраних для її вимірювання показників, не порівнюючи їх із відповідними показниками аналогічних виробів. Для цього необхідно визначити зміст основних функцій, які повинні реалізовувати розробка, вимоги замовника до неї, а також умови, які характеризують експлуатацію, визначають основні параметри, які будуть використані для розрахунку коефіцієнта технічного рівня виробу. Система параметрів, прийнята до розрахунків, повинна достатньо повно характеризувати споживчі властивості інноваційного товару (його призначення, надійність, економічне використання ресурсів, стандартизація тощо).

Далі визначаємо величину параметрів якості в балах та встановлюємо граничні його значення (кращі, гірші, середні). Всі ці дані для кожного параметра заносимо в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Основні параметри системи широкосмугового доступу на основі волоконно-оптичних ліній зв'язку

Параметри	Абсолютне значення параметра			Коефіцієнт вагомості параметра
	Краще +5...+4	Середнє +3	Гірше +1...+2	
Точність оптичного випромінювання	5			0,4
Кількість вимірювальних каналів	4			0,1
Діапазон вимірювання	4			0,4
Відносна похибка	5			0,1

Із врахуванням коефіцієнтів вагомості відповідних параметрів можна визначити абсолютний рівень якості інноваційного рішення за формулою:

$$K_{\text{я.а.}} = \sum_{i=1}^n P_{ni} \cdot a_i, \quad (5.1)$$

де P_{ni} – числове значення i -го параметра інноваційного рішення, n – кількість параметрів інноваційного рішення, що прийняті для оцінювання, a_i – коефіцієнт вагомості відповідного параметра (сума коефіцієнтів вагомості всіх параметрів повинна дорівнювати 1).

Отже, абсолютний рівень якості системи широкосмугового доступу на основі волоконно-оптичних ліній зв'язку становитиме – 4,5 бали.

Одночасно визначаємо відносний рівень якості системи широкосмугового доступу на основі волоконно-оптичних ліній зв'язку, що виробляється (проектуються), порівнюючи її показники з абсолютними показниками якості найліпших вітчизняних та зарубіжних аналогів (товарів-конкурентів) (табл. 5.4).

Таблиця 5.4 – Основні параметри системи широкосмугового доступу на основі волоконно-оптичних ліній зв'язку та товару-конкурента

Параметри	Варіанти		Відносний показник якості	Коефіцієнт вагомості параметра
	Базовий (конкурент)	Новий		
Точність оптичного випромінювання	2	3	1,5	0,4
Кількість вимірювальних каналів	2	4	2	0,1
Діапазон вимірювання	10	30	3	0,4
Відносна похибка	3	5	0,6	0,1

Відносний рівень якості системи широкосмугового доступу на основі волоконно-оптичних ліній зв'язку визначаємо за формулою:

$$K_{\text{я.в.}} = \sum_{i=1}^n q_i \cdot a_i, \quad (5.2)$$

За розрахунками відносний рівень якості системи широкосмугового доступу на основі волоконно-оптичних ліній зв'язку становитиме – 2,06. Це означає, що наша розробка краща за якістю майже вдвічі краща від товару-аналога.

5.3 Визначення конкурентоспроможності розробки

У найширшому розумінні конкурентоспроможність товару – це можливість його успішного продажу на певному ринку і в певний проміжок часу. Водночас конкурентоспроможною можна вважати лише однорідну продукцію з технічними параметрами і техніко-економічними показниками, що ідентичні аналогічним показникам уже проданого товару. Для того, щоб високоякісний товар був одночасно і конкурентоспроможним, він має відповідати критеріям оцінювання споживачів конкретного ринку в конкретний час.

Дані для розрахунку загального показника конкурентоспроможності розробки необхідно занести до таблиці 5.5.

Таблиця 5.5 – Нормативні, технічні та економічні параметри системи широкосмугового доступу на основі волоконно-оптичних ліній зв'язку і товару-конкурента

Параметри	Варіанти		Відносний показник якості	Коефіцієнт вагомості параметра
	Базовий (конкурент)	Новий		
Точність оптичного випромінювання	2	3	1,5	0,4
Кількість вимірювальних каналів	2	4	2	0,1
Діапазон вимірювання	10	30	3	0,4
Відносна похибка	3	5	0,6	0,1
Ціна за продукт, тис. грн.	10000	5600	0,56	-

Загальний показник конкурентоспроможності розробки (К) з урахуванням вищезазначених груп показників визначаємо за формулою:

$$K = \frac{I_{т.п.}}{I_{е.п.}} = \frac{2,06}{0,56} = 3,68, \quad (5.3)$$

де $I_{т.п.}$ – індекс технічних параметрів (відносний рівень якості інноваційного рішення); $I_{е.п.}$ – індекс економічних параметрів.

$$I_{е.п.} = \frac{P_{Hei}}{P_{Bei}} = \frac{5600}{10000} = 0,56, \quad (5.4)$$

де P_{Hei} , P_{Bei} – економічні параметри (ціна придбання та споживання товару) відповідно нового та базового товарів.

Згідно розрахунків загальний показник конкурентоспроможності – 3,68. Це означає, що наша розробка системи широкосмугового доступу на основі волоконно-оптичних ліній зв'язку більш конкурентна майже в тричі краща від товару-аналога.

5.4 Прогнозування витрат на виконання роботи

Розрахунок витрат, що стосуються виконавців розробки системи широкосмугового доступу на основі волоконно-оптичних ліній зв'язку

Основна заробітна плата кожного із розробників (дослідників) Z_0 , якщо вони працюють в наукових установах бюджетної сфери:

$$Z_0 = \frac{M}{T_p} \cdot t, \quad (5.5)$$

де M – місячний посадовий оклад конкретного розробника (інженера, дослідника, науковця тощо), грн.

У 2019 році величини окладів (разом з встановленими доплатами і надбавками) рекомендується брати в межах (5000...10000) грн. за місяць; T_p –

число робочих днів в місяці; приблизно $T_p = (21 \dots 23)$ дні; t – число робочих днів роботи розробника (дослідника).

Зроблені розрахунки зводимо до таблиці 5.6.

Таблиця 5.6 – Заробітна плата розробників

Посада	Місячний посадовий оклад, грн.	Оплата за робочий день, грн.	Число днів роботи	Витрати на заробітну плату, грн.
Керівник	10000	455	5	2275
Інженер-програміст	5000	455	5	2275
Консультанти	5000	227	5	1135
Всього:				5685

Основна заробітна плата робітників Z_p , якщо вони беруть участь у виконанні даного етапу роботи і виконують роботи за робочими професіями у випадку, коли вони працюють в наукових установах бюджетної сфери, розраховується за формулою:

$$Z_p = \sum_{i=1}^n t_i \cdot C_i, \quad (5.6)$$

де t_i – норма часу (трудомісткість) на виконання конкретної роботи, годин; n – число робіт по видах та розрядах; C_i – погодинна тарифна ставка робітника відповідного розряду, який виконує дану роботу. C_i визначається за формулою:

$$C_i = \frac{M_m \cdot K_i}{T_p \cdot T_{zm}}, \quad (5.7)$$

де M_m – розмір мінімальної заробітної плати за місяць, грн.; в 2019 році мінімальна заробітна плата становить – 4173 грн., K_i – тарифний коефіцієнт робітника відповідного розряду, T_p – число робочих днів в місяці; приблизно $T_p = 21 \dots 23$ дні; T_{zm} – тривалість зміни, зазвичай $T_{zm} = 8$ годин.

Величина чинних тарифних коефіцієнтів робітників відповідних розрядів для бюджетної сфери наведена в таблиці:

Розряд	1	2	3	4	5	6	7	8
Кі	1,00	1,09	1,18	1,27	1,36	1,45	1,54	1,64

Таблиця 5.7 – Заробітна плата робітників

Найменування робіт	Трудомісткість, н-год.	Розряд роботи	Погодинна тарифна ставка	Тариф. коеф.	Величина, грн.
Налагоджувальні	3	4	30	1,27	90
Складальні	2	4	30	1,27	60
Механічні	1	3	28	1,18	28
Заготівельні	4	2	26	1,09	104
Всього					252

Додаткова заробітна плата Зд всіх розробників та робітників, які брали участь у виконанні даного етапу роботи, розраховується як (10...12)% від суми основної заробітної плати всіх розробників та робітників, тобто:

$$Зд = 0,1 \cdot (Зр + Зо) = 0,1 \cdot (5685 + 252) = 593,7 \text{ грн.} \quad (5.8)$$

Нарахування на заробітну плату Нзп розробників та робітників, які брали участь у виконанні даного етапу роботи, розраховуються за формулою: де Зо – основна заробітна плата розробників, грн.; Зр – основна заробітна плата робітників, грн.; Зд – додаткова заробітна плата всіх розробників та робітників, грн.; β – ставка єдиного внеску на загальнообов'язкове державне соціальне страхування, % (приймаємо для 1-го класу професійності ризику 22%).

$$\begin{aligned} \text{Нзп} &= 0,22 \cdot (Зр + Зо + Зд) = 0,22 \cdot (5685 + 252 + 593,7) = \\ &= 1437 \text{ грн.} \end{aligned} \quad (5.9)$$

Амортизація обладнання, комп'ютерів та приміщень А, які використовувались під час (чи для) виконання даного етапу роботи.

Дані відрахування розраховують по кожному виду обладнання, приміщенням тощо.

У спрощеному вигляді амортизаційні відрахування A в цілому бути розраховані за формулою:

$$A = \frac{Ц \cdot N_a}{100} \cdot \frac{T}{12},$$

де $Ц$ – загальна балансова вартість всього обладнання, комп'ютерів, приміщень тощо, що використовувались для виконання даного етапу роботи, грн.; N_a – річна норма амортизаційних відрахувань. Для нашого випадку можна прийняти, що $N_a = (10...25)\%$; T – термін, використання обладнання, приміщень тощо, місяці.

Таблиця 5.8 - Амортизаційні відрахування

Найменування	Ціна, грн.	Норма амортизації, %	Термін використання, м.	Сума амортизації
ПК+панель оператора	7000	20	2	233
ПЛК	10000	20	2	333
Інше обладнання	9000	10	1	75
Всього			641	

Витрати на матеріали M , що були використані під час виконання даного етапу роботи, розраховуються за формулою:

$$M = \sum_1^n N_i \cdot C_i \cdot K_i, \text{ грн}$$

де N_i – кількість матеріалу i -го виду, шт.; C_i – ціна матеріалу i -го виду, грн.; K_i – коефіцієнт транспортних витрат, $K_i = (1,1...1,15)$; n – кількість видів матеріалів.

Таблиця 5.9 - Матеріали, що використані на розробку

Найменування матеріалу	Ціна за одиницю, грн.	Витрачено	Вартість, грн.
Флюс ФКСН	4	0,05	0,2
Каніфоль	11	0,3	3,3
Припій ПОС-61	500	0,1	50
Всього, з урахуванням коефіцієнта транспортних витрат		59	

Витрати на комплектуючі К, що були використані під час виконання даного етапу роботи, розраховуються за формулою:

$$K = \sum_1^n N_i \cdot C_i \cdot K_i, \text{ грн}$$

де N_i – кількість комплектуючих i -го виду, шт.; C_i – ціна комплектуючих i -го виду, грн.; K_i – коефіцієнт транспортних витрат, $K_i = (1, 1, \dots, 1, 15)$; n – кількість видів комплектуючих.

Таблиця 5.10 - Комплектуючі, що використані на розробку

Найменування матеріалу	Ціна за одиницю, грн.	Витрачено	Вартість, грн.
Фотодіод	30	3	90
Оптичний тракт	100	1	100
Корпус	200	1	200
Тумблер	15	1	15
Панель оператора	2000	1	2000
Операційний підсилювач	2	1	2
Інтерфейс	70	2	140
Джерело напруги	20	1	20
Всього, з урахуванням коефіцієнта транспортних витрат		2824	

Витрати на силову електроенергію Ve , якщо ця стаття має суттєве значення для виконання даного етапу роботи, розраховуються за формулою:

$$Ve = V \cdot P \cdot \Phi \cdot K_p, \text{ грн}$$

V – вартість 1 кВт-год. електроенергії, в 2019 р. $V \approx 8,45$ грн./кВт; P – установлена потужність обладнання, кВт; Φ – фактична кількість годин роботи обладнання, годин, K_p – коефіцієнт використання потужності; $K_p < 1$.

Потужність обладнання складає – 0,5 кВт.

Кількість годин роботи складає – 700 годин.

Коефіцієнт викор. потужності -0,9.

$V_e = 2662$ грн.

Інші витрати V_{in} охоплюють: витрати на управління організацією, оплата службових відряджень, витрати на утримання, ремонт та експлуатацію основних засобів, витрати на опалення, освітлення, водопостачання, охорону праці тощо.

Інші витрати I_v можна прийняти як (100...300)% від суми основної заробітної плати розробників та робітників, які були виконували дану роботу, тобто:

$$I_v = 2 \cdot (Z_o + Z_p) = 2 \cdot (5685 + 252) = 11874 \text{ грн.} \quad (5.10)$$

Сума всіх попередніх статей витрат дає витрати на виконання даної частини (розділу, етапу) роботи – V .

$$V = 26028 \text{ грн.}$$

Розрахунок загальних витрат на розробку системи ширококутового доступу на основі волоконно-оптичних ліній зв'язку

Загальна вартість всієї наукової роботи визначається за V_{zag} формулою:

$$V_{zag} = \frac{I_v}{\alpha} = \frac{11874}{0,6} = 19790 \text{ грн,} \quad (5.11)$$

де α – частка витрат, які безпосередньо здійснює виконавець даного етапу роботи, у відн. одиницях.

Прогнозування витрат на виконання та впровадження системи ширококутового доступу на основі волоконно-оптичних ліній зв'язку

Прогнозування загальних витрат ZV на виконання та впровадження системи ширококутового доступу на основі волоконно-оптичних ліній зв'язку здійснюється за формулою:

$$ЗВ = \frac{Взаг}{\beta} = \frac{19790}{0,5} = 39580 \text{ грн}, \quad (5.12)$$

де β – коефіцієнт, який характеризує етап (стадію) виконання даної роботи.

Так, якщо розробка знаходиться: на стадії науково-дослідних робіт, то $\beta \approx 0,1$; на стадії технічного проектування, то $\beta \approx 0,2$; на стадії розробки конструкторської документації, то $\beta \approx 0,3$; на стадії розробки технологій, то $\beta \approx 0,4$; на стадії розробки дослідного зразка, то $\beta \approx 0,5$; на стадії розробки промислового зразка, $\beta \approx 0,7$; на стадії впровадження, то $\beta \approx 0,9$.

5.5 Прогнозування комерційних ефектів від реалізації системи широкопasmового доступу на основі волоконно-оптичних ліній зв'язку

З метою прогнозування комерційних ефектів від реалізації системи широкопasmового доступу на основі волоконно-оптичних ліній зв'язку складемо таблицю вихідних показників, за рахунок яких і відбуватиметься отримання комерційного ефекту.

Таблиця 5.11 – Вихідні дані для прогнозування комерційного ефекту від реалізації системи широкопasmового доступу на основі волоконно-оптичних ліній зв'язку

Рік реалізації розробки	1	2	3
Кількість од. реалізації, шт.	200	500	700

Величина зростання ціни реалізації системи широкопasmового доступу на основі волоконно-оптичних ліній зв'язку, грн. – 4400 грн.

Кількість продукції, що випускалась до впровадження системи широкопasmового доступу на основі волоконно-оптичних ліній зв'язку – 100 шт.

Збільшення чистого прибутку підприємства Π_i для кожного із років, протягом яких очікується отримання позитивних результатів від впровадження розробки, розраховується за формулою:

$$\Delta P_i = \sum_1^n (\Delta C_0 \cdot N + C_0 \cdot \Delta N) \cdot \rho \cdot \gamma \cdot \left(1 - \frac{v}{100}\right) \quad (5.13)$$

де ΔP_0 – покращення основного оціночного показника від впровадження результатів розробки у даному році. Зазвичай таким показником може бути ціна одиниці нової розробки; N – основний кількісний показник, який визначає діяльність підприємства у даному році до впровадження результатів наукової розробки; ΔN – покращення основного кількісного показника діяльності підприємства від впровадження результатів розробки; C_0 – основний оціночний показник, який визначає діяльність підприємства у даному році після впровадження результатів наукової розробки; n – кількість років, протягом яких очікується отримання позитивних результатів від впровадження розробки; λ – коефіцієнт, який враховує сплату податку на додану вартість. У 2018 р. ставка податку на додану вартість дорівнює 20%, а коефіцієнт – 0,8333. З 2014 року ставка податку на додану вартість встановлена на рівні 17%, а коефіцієнт – 0,8547; ρ – коефіцієнт, який враховує рентабельність продукту. Рекомендується приймати – 0,2...0,3; v – ставка податку на прибуток. У 2018 році – 21%, у 2013 році – 19%, а з 2014 року – 16%.

Збільшення чистого прибутку підприємства P_i протягом першого року складе:

$$\Delta P_1 = 82684 \text{ грн.}$$

Збільшення чистого прибутку підприємства P_i протягом другого року (відносно базового року, тобто року до впровадження результатів наукової розробки) складе:

$$\Delta P_2 = 469530 \text{ грн.}$$

Збільшення чистого прибутку підприємства протягом третього року (відносно базового року, тобто року до впровадження результатів наукової розробки) складе:

$$\Delta P_3 = 499060 \text{ грн.}$$

5.6 Розрахунок ефективності вкладених інвестицій та період їх окупності

Для цього користуються формулою:

$$E_{abc} = (ПП - PV), \quad (5.14)$$

де ПП – приведена вартість всіх чистих прибутків, що їх отримає підприємство (організація) від реалізації результатів наукової розробки, грн.; PV – теперішня вартість інвестицій $PV = ZB$, грн.

У свою чергу, приведена вартість всіх чистих прибутків ПП розраховується за формулою:

$$ПП = \sum_1^t \frac{\Delta\Pi_i}{(1+\tau)^t} \quad (5.15)$$

де $\Delta\Pi_i$ – збільшення чистого прибутку у кожному із років, протягом яких виявляються результати виконаної та впровадженої НДДКР, грн.; t – період часу, протягом якого виявляються результати впровадженої НДДКР, роки; τ – ставка дисконтування, за яку можна взяти щорічний прогнозований рівень інфляції в країні; для України цей показник знаходиться на рівні 0,1; t – період часу (в роках) від моменту отримання чистого прибутку до точки „0”.

$$ПП = 539470 \text{ грн.},$$

$$E_{abc} = 539470 - 39580 = 485489 \text{ грн.}$$

Оскільки $E_{abc} > 0$, то результат від проведення наукових досліджень та їх впровадження принесе прибуток, але це також ще не свідчить про те, що інвестор буде зацікавлений у фінансуванні розробки системи широкосмугового доступу на основі волоконно-оптичних ліній зв'язку.

Розрахунок відносної ефективності вкладених коштів в НДДКР системи широкосмугового доступу на основі волоконно-оптичних ліній зв'язку

Для цього користуються формулою:

$$E_B = \sqrt[t]{1 + \frac{E_{abc}}{PV}} - 1 \quad (5.16)$$

де E_{abc} – абсолютна ефективність вкладених інвестицій, грн.; PV – теперішня вартість інвестицій $PV = ZB$, грн.; $T_{ж}$ – життєвий цикл наукової розробки, роки.

$$E_B = 2,6$$

Далі, розрахована величина E_B порівнюється з мінімальною (бар'єрною) ставкою дисконтування, що дорівнює:

$$\tau = d + f, \quad (5.17)$$

де d – середньозважена ставка за депозитними операціями в комерційних банках; в 2018 році в Україні $d = (0,14 \dots 0,2)$; f – показник, що характеризує ризикованість вкладень; зазвичай, величина $f = (0,05 \dots 0,1)$, але може бути і значно більше.

$$E_B = 2,6 \geq \tau = 0,2 + 0,1 = 0,3.$$

Оскільки величина $E_B > \tau_{\min}$, то інвестор може бути зацікавлений у фінансуванні даної наукової розробки.

Розрахунок терміну окупності коштів, вкладених в наукову розробку системи широкопasmового доступу на основі волоконно-оптичних ліній зв'язку

Термін окупності вкладених у реалізацію наукового проекту інвестицій $T_{ок}$ можна розрахувати за формулою:

$$T_{ок} = \frac{1}{E_B} = \frac{1}{2,6} = 0,4 \text{ роки.} \quad (5.18)$$

Оскільки $T_{ок} < 3 \dots 5$ -ти років, то фінансування даної наукової розробки системи широкопasmового доступу на основі волоконно-оптичних ліній зв'язку є доцільним.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Виробнича безпека, яку розглядає охорона праці, має велике значення для працюючих, оскільки саме вона контролює фізичний стан трудівника, що не може не позначитись на його здоров'ї, житті та продуктивності роботи в тому числі і в галузі радіотехніки.

У цьому розділі проводиться розгляд шкідливих, небезпечних [1] і уражаючих для людини та навколишнього довкілля факторів, які утворюються під час проведення дослідження системи широкосмугового доступу на основі волоконно-оптичних ліній зв'язку. Тут розглядаються, в тому числі, технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії, визначення межі лазерно-небезпечної зони для дифузно відбитого випромінювання (точкове джерело), технічні рішення з промислової та пожежної безпеки під час проведення дослідження, безпека в надзвичайних ситуаціях.

6.1 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

6.1.1 Склад повітря робочої зони та мікроклімат

Визначаємо для приміщення для проведення дослідження системи широкосмугового доступу на основі волоконно-оптичних ліній зв'язку, категорію важкості робіт за фізичним навантаженням – легка Іа.

Відповідно до [2] допустимі параметри температури, відносної вологості та швидкості руху повітря в робочій зоні для холодного та теплого періодів року приведені в таблиці Е.1 додатку Е.

Для опромінення менше 25% поверхні тіла людини, допустима інтенсивність теплового опромінення – 100 Вт/м^2 .

Повітря робочої зони не повинно містити шкідливих речовин з концентраціями вище гранично допустимих концентрацій (ГДК) у повітрі робочої зони та підпадає під систематичний контроль для запобігання можливості

перевищення ГДК, значення яких для роботи з ЕОМ наведено в таблиці Е.2 додатку Е.

При використанні ЕОМ джерелом зараження повітря є також іонізація молекул речовин, що містяться у повітрі. Рівні позитивних та негативних іонів повинні відповідати [4] та приведені у таблиці Е.3 додатку Е.

З метою встановлення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату і складу повітря робочої зони передбачено: у приміщенні повинна бути розміщена система опалення для холодного і кондиціонування для теплого періодів року; припливно-витяжна система вентиляції, а при несприятливих погодних умовах кондиціонування.

6.1.2 Виробниче освітлення

З метою забезпечення раціональних гігієнічних умов на робочих місцях значні вимоги пред'являються щодо якісних та кількісних параметрів освітлення.

З точки зору задач зорової роботи в приміщенні, де проводиться робота з дослідження системи широкосмугового доступу на основі волоконно-оптичних ліній зв'язку, згідно [3] визначаємо, що вони відносяться до IV розряду зорових робіт. Приймаємо контраст об'єкта з фоном – середній, а характеристику фону – середню, яким відповідає підрозряд зорових робіт *в*.

Нормативні значення коефіцієнта природного освітлення (КПО) і мінімальні значення освітленості при штучному освітленні наведені в таблиці Е.4 додатку Е.

Так як приміщення розташоване у м. Вінниця (друга група забезпеченості природним світлом), а світлові пройми орієнтовані за азимутом 45° , то за таких умов КЕО розраховується за виразом [3, 4]

$$e_N = e_h m_N [\%], \quad (6.1)$$

де e_h – табличне значення КЕО для бокового освітлення, %;

m_N – коефіцієнт світлового клімату;

N – номер групи забезпеченості природним світлом.

За відомими значеннями отримаємо нормовані значення КПО для бокового та суміщеного освітлення:

$$e_{N.6} = 1,5 \cdot 0,9 = 1,4 (\%);$$

$$e_{N.c} = 0,9 \cdot 0,9 = 0,8 (\%).$$

Для забезпечення нормативних значень параметрів освітлення передбачено такі заходи: за недостатнього природного освітлення у світлий час доби доповнення штучним завдяки використанню газорозрядних ламп з утворенням системи суміщеного освітлення; використання штучного освітлення в темний час доби.

6.1.3 Виробничі віброакустичні коливання

Зважаючи на те, що під час експлуатації пристроїв крім усього іншого устаткування використовується обладнання, робота якого генерує шум та вібрацію, потрібно передбачити шумовий та вібраційний захист.

Встановлено, що приміщення, де проводиться робота з дослідження системи широкопasmового доступу на основі волоконно-оптичних ліній зв'язку може мати робочі місця із шумом та вібрацією, що створюється рухомими елементами ЕОМ.

Для попередження травмування працюючих під дією шуму він підлягає нормуванню. Головним нормативом з питань промислового шуму, діючим в Україні, є [5], згідно з яким допустимі рівні звукового тиску, рівні звуку і еквівалентні рівні шуму на робочих місцях у виробничих приміщеннях не мають бути більшими ніж значення, що приведені в таблиці Е.5 додатку Е. Норми виробничих вібрацій наведені в таблиці Е.6 додатку Е для локальної вібрації.

З метою поліпшення віброакустичного клімату в приміщенні передбачено такі заходи: постійне змащування підшипників вентиляторів блоку живлення ЕОМ і кулерів відеоадаптера та мікропроцесора; контроль рівня шуму та вібрації не менше 1 разу на рік.

6.1.4 Виробничі випромінювання

Аналіз умов праці показав, що приміщення, де проводиться робота з дослідження може містити лазерні випромінювання.

Згідно [14] регламентуються гранично допустимі рівні (ГДР) для кожного режиму роботи лазера і його спектрального діапазону. Граничні дози при однократному впливі на очі і шкіру прямого чи розсіяного лазерного випромінювання наведені в таблиці 5.1.

Таблиця 6.1 – Граничні дози при однократному впливі на очі і шкіру прямого чи розсіяного лазерного випромінювання

Довжина хвилі λ , нм	Тривалість опромінення t , с	$H_{ГДР}$, Дж/м ² ; $E_{ГДР}$, Вт/м ²
1400 < λ ≤ 1800	$10^{-10} < t \leq 1$	$H_{ГДР} = 2 \cdot 10^4 \cdot \sqrt[5]{t}$
	$1 < t \leq 10^2$	$E_{ГДР} = 2 \cdot 10^4 / \sqrt[5]{t}$
	$t > 10^2$	$E_{ГДР} = 5 \cdot 10^2$
1800 < λ ≤ 2500	$10^{-10} < t \leq 3$	$H_{ГДР} = 7 \cdot 10^3 \cdot \sqrt[5]{t}$
	$3 < t \leq 10^2$	$E_{ГДР} = 5 \cdot 10^3 / \sqrt{t}$
	$t > 10^2$	$E_{ГДР} = 5 \cdot 10^2$
2500 < λ ≤ 10 ⁵	$10^{-10} < t \leq 10^{-1}$	$H_{ГДР} = 2,5 \cdot 10^3 \cdot \sqrt[5]{t}$
	$10^{-1} < t \leq 1$	$H_{ГДР} = 5 \cdot 10^3 \cdot \sqrt{t}$
	$1 < t \leq 10^2$	$E_{ГДР} = 5 \cdot 10^3 / \sqrt{t}$
	$t > 10^2$	$E_{ГДР} = 5 \cdot 10^2$

Для забезпечення нормованих параметрів лазерного випромінювання у приміщенні передбачено такі заходи: відокремлення небезпечної зони дисциплінарним бар'єром; використання спеціальних окулярів із світлофільтрами для запобігання ураження органів зору.

Вихідні дані: потужність лазера $P = 0,75$ Вт, тривалість опромінення $t = 10$ с, кут між нормаллю до поверхні і напрямком на розрахункову точку $\theta = 0,09$ рад.

В якості засобу захисту працюючих від лазерного випромінювання вибираємо захист відстанню.

Межу лазерно-небезпечної зони для дифузно-відбитого випромінювання можна розрахувати за формулою:

$$R_{ГП} = \sqrt{\frac{Pk_1\rho\cos\theta}{\pi E}} \text{ [м]}, \quad (6.2)$$

де P – потужність лазерного випромінювання, Вт;

k_1 – коефіцієнт, що враховує послаблення випромінювання на шляху поширення;

ρ – коефіцієнт відбиття від поверхні екрану;

θ – кут між нормаллю до поверхні і напрямком на розрахункову точку, рад;

E – гранично допустима щільність потужності, Вт/м².

Приймаємо $k_1 = 0,75$ і $\rho = 0,4$ для стін.

Гранично допустима щільність потужності для хвилі з довжиною $\lambda=1800\dots2500$ нм і тривалості опромінення від 3 до 100 с визначається за формулою:

$$E = 5 \cdot 10^3 / \sqrt{t} \text{ [Вт/м}^2\text{]}. \quad (6.3)$$

Підставивши у формулу (5.3) відоме значення тривалості опромінення, отримаємо гранично допустима щільність потужності:

$$E = 5 \cdot 10^3 / \sqrt{10} = 1581,14 \text{ (Вт/м}^2\text{)}.$$

Використовуючи формулу (6.2) визначимо межу лазерно-небезпечної зони для дифузно-відбитого випромінювання

$$R_{ГР} = \sqrt{\frac{0,75 \cdot 0,75 \cdot 0,4 \cdot \cos 0,09}{3,14 \cdot 1581,14}} = 0,006718 \text{ (м)}.$$

5.2 Технічні рішення з промислової та пожежної безпеки під час проведення дослідження

Сучасний етап розвитку техніки, автоматизації розробок та досліджень характеризується широким використанням на робочому місці ЕОМ. Наявність великої кількості прикладних програм сприяє тому, що ЕОМ є основним робочим інструментом інженера в галузі радіотехніки.

6.2.1 Безпека щодо організації робочих місць

Робочі місця з відеодисплейним терміналом повинні розташовуватись на відстані не менше ніж 1,5 м від стіни з віконними прорізами, від інших стін – на відстані 1 м, між собою на віддалі не менше як 1,5 м. У випадку розміщення робочих місць необхідно виключити ймовірність прямого засвічування екрану джерелом природного освітлення. Робоче місце доцільно розміщати таким чином, щоб природне освітлення знаходилось збоку, бажано з лівого [7].

Поверхня екрана повинна розташовуватись на відстані 400-700 мм від очей користувача. Висота робочої поверхні столу під час виконання роботи сидячи повинна налаштовуватись у діапазоні 680-800 мм. Робочий стіл повинен мати простір для ніг висотою не менше 600 мм, шириною не менше ніж 500 мм, глибиною на рівні колін не менше 450 мм та на рівні витягнутої ноги не менше ніж 650 мм [8].

6.2.2 Електробезпека

В середині приміщення, де проводиться робота з дослідження системи ширококутового доступу на основі волоконно-оптичних ліній зв'язку, особливу увагу слід надати запобіганню небезпеки ураження електричним струмом. Згідно [9] дане приміщення відноситься до приміщень з підвищеною небезпекою ураження електричним струмом в наслідок наявності значної (більше 75 %)

відносної вологості. Через це безпека експлуатації електрообладнання повинна гарантуватись комплексом заходів, які включають використання ізоляції струмовідних елементів, захисних блокувань, захисного заземлення тощо [10].

6.2.3 Пожежна безпека

Згідно [11] приміщення, де проводиться робота з дослідження системи широкосмугового доступу на основі волоконно-оптичних ліній зв'язку, відноситься до категорії пожежної небезпеки В. Дане приміщення відноситься до 2-го ступеня вогнестійкості, в якому приміщення знаходяться в будівлі з несучими та огорожувальними конструкціями з природних або штучних кам'яних матеріалів, бетону, залізобетону із застосуванням листових і плитних негорючих матеріалів.

Мінімальні межі вогнестійкості конструкцій розглядуваного приміщення наведені в таблиці X.7. В таблиці X.8 приведено протипожежні норми проектування будівель і споруд.

Встановлюємо, що приміщення, де проводиться робота з дослідження, має бути оснащено двома вогнегасниками, пожежним щитом, ємністю з піском [12].

6.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях. Дослідження стійкості роботи системи мобільного зв'язку в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій

Під стійкістю роботи системи мобільного зв'язку розуміють здатність об'єкта виконувати задані функції, що відповідають вимогам відповідних планів в умовах надзвичайних ситуацій, а також пристосованість цієї системи до відновлення в умовах її ушкодження.

На основі вивчення факторів, які впливають на стійкість роботи системи і оцінки стійкості роботи елементів проти уражаючих чинників стихійних лих і виробничих аварій, необхідно завчасно організувати і провести організаційні, інженерно-технічні й технологічні заходи для підвищення стійкості роботи.

До загальних інженерно-технічних заходів можна віднести: розміщення елементів системи в заглиблених приміщеннях, а також використання спеціальних захисних пристосувань, закріплення пристрою, застосування контрфорсів для підвищення стійкості системи мобільного зв'язку.

6.3.1 Дослідження стійкості роботи системи мобільного зв'язку в умовах дії іонізуючих випромінювань

Визначаємо граничні значення дози опромінення $D_{грi}$, для елементної бази системи, при яких виникають незворотні зміни. Отримані дані заносимо в таблицю 6.2.

Таблиця 6.2 – Граничні значення експозиційних доз елементів

Блоки схеми	Елементи	$D_{грi}, P$	$D_{гр}, P$
Блок перетворення сигналів	Мікросхема LM317	10^3	10^3
	Діод 1N4004	10^4	
	Резистор С2-23	10^4	
	Конденсатор К50-6	10^5	10^3
Блок формування сигналу програмування	Діод 1N4148	10^4	
	Резистор С2-33	10^6	
	Транзистор 2SA1271	10^4	
Блок формування сигналу MBUS	Резистор С2-29В	10^6	
	Транзистор 2SA1271	10^3	

Проаналізувавши дані таблиці 6.2, визначили, що самим уразливим елементом системи з мінімальною дозою $D_{грi} = 10^3 P$ є такі як мікросхеми великої ступені інтеграції і польові транзистори та деякі види діодів. Визначаємо можливу дозу опромінення за формулою:

$$D_M = \frac{2 \cdot P_1 (\sqrt{t_k} - \sqrt{t_p})}{K_{осл}}, \quad (6.4)$$

де P_1 – максимальне значення рівня радіації ($P_1 = 4,94 P/\text{год}$);

t_k – час кінця опромінення (5 років експлуатації) ($t_k = 43800$ год);

$t_{\text{п}}$ – час початку опромінення ($t_{\text{п}} = 1$ год).

$K_{\text{осл}}$ – коефіцієнт послаблення радіації ($K_{\text{осл}} = 1$).

$$D_{\text{м}} = \frac{2 \cdot 4,94 (\sqrt{43800} - \sqrt{1})}{1} = 2067,7 \text{ (Р)}.$$

Оскільки $D_{\text{грi}} > D_{\text{м}}$, то дана система мобільного зв'язку стійка до дії радіації. Визначимо допустимий час роботи РЕА в заданих умовах за формулою:

$$t_{\text{д}} = \frac{D_{\text{гр}} \cdot K_{\text{осл}} + 2 \cdot P_1 \cdot \sqrt{1}}{2 \cdot P_1}, \quad (6.5)$$

$$t_{\text{д}} = \frac{10^3 \cdot 1 + 2 \cdot 4,94 \cdot \sqrt{1}}{2 \cdot 4,94} = 102,2 \text{ (год)}.$$

Отже, можлива доза опромінення елементної бази складає $D_{\text{м}} = 2067,7$ Р, а допустима - 10^3 Р. Отже, розроблена система мобільного зв'язку є умовно стійкою в умовах дії іонізуючого випромінювання. Допустимий гарантований час роботи системи мобільного зв'язку в заданих умовах складає 2300 год., при рівні радіації 4,94 Р/год.

6.3.2 Дослідження стійкості роботи системи мобільного зв'язку в умовах дії електромагнітного імпульсу

Визначимо горизонтальну складову напруженості електромагнітного поля:

$$E_{\text{г}} = 9,21 \cdot 10^3 \cdot 10^{-3} = 9,21 \text{ (В/м)}.$$

Визначаємо горизонтальну та вертикальну напругу наводки.

$$U_{\text{г}} = 9,21 \cdot 10^3 \cdot 0,5 = 4605 \text{ (В)}.$$

$$U_{\text{в}} = 9,21 \cdot 0,5 = 4,605 \text{ (В)}.$$

Визначаємо допустимі коливання напруги живлення для різних блоків:

$$U_{\text{д}} = U_{\text{ж}} + \frac{U_{\text{ж}}}{100} \cdot N, \quad (6.6)$$

де N – відсоток допуску.

$$U_d = 3 + \frac{3}{100} \cdot 5 = 3,15 \text{ (В)},$$

$$U_d = 5 + \frac{5}{100} \cdot 5 = 5,25 \text{ (В)},$$

$$U_d = 12 + \frac{12}{100} \cdot 5 = 12,6 \text{ (В)}.$$

Визначаємо коефіцієнти безпеки для кожної ділянки:

$$K_B = 20 \cdot \lg \frac{U_d}{U_{B(r)}} \geq 40 \text{ дБ}, \quad (6.7)$$

де U_d - допустиме коливання напруги живлення, В;

$U_{B(r)}$ - напруга наведена за рахунок електромагнітного імпульсу у вертикальних (горизонтальних) струмопровідних частинах, В.

$$K_{B_{r1}} = 20 \cdot \lg \frac{3,15}{4605} = -63,2 \text{ (дБ)},$$

$$K_{B_{r2}} = 20 \cdot \lg \frac{5,25}{4605} = -58,85 \text{ (дБ)},$$

$$K_{B_{r3}} = 20 \cdot \lg \frac{12,6}{4605} = -51,25 \text{ (дБ)}.$$

$$K_{B_{v1}} = 20 \cdot \lg \frac{3,15}{4,605} = -3,2 \text{ (дБ)},$$

$$K_{B_{v2}} = 20 \cdot \lg \frac{5,25}{4,605} = 1,15 \text{ (дБ)},$$

$$K_{B_{v3}} = 20 \cdot \lg \frac{12,6}{4,605} = 8,75 \text{ (дБ)}.$$

Отримані дані заносимо в таблицю 6.3.

Таблиця 6.3 – Значення коефіцієнтів безпеки системи мобільного зв'язку.

№	Найменування блоку	$K_{B_r}, \text{дБ}$	$K_{B_v}, \text{дБ}$	Результат дії
1	Блок живлення, 12 В	-63,2	-3,2	Нестійкий
2	Блок керування, 5 В	-58,85	1,15	Нестійкий
3	Блок зберігання інформації, 3 В	-51,25	8,75	Нестійкий

Границя стійкості системи мобільного зв'язку $Kb_{\min} = -63,2$ дБ, а $Kb_{\text{гр}} = 8,75$. Отже, приймач є нестійким в умовах дії електромагнітного імпульсу.

6.3.3 Розробка заходів по підвищенню стійкості роботи системи мобільного зв'язку в умовах надзвичайних ситуацій

При радіоактивному зараженні пристроїв використовують протирадіаційний захист:

- захисні плівки;
- зміна приміщень;
- протирадіаційне екранування - полягає в тому, що між джерелом небезпеки і людиною встановлюється перешкода, яка гарантує захист від небезпеки. Застосовуються, як правило, різноманітні за конструкцією суцільні екрани.

Для підвищення стійкості роботи системи необхідно використовувати екранування РЕА. Перехідне гасіння енергії електричного поля екраном для сталі:

$$A = 40 - Kb_{\min}, \quad (6.8)$$

Для БЖ:

$$A_1 = 40 + 63,2 = 103,2 \text{ (дБ)};$$

Для БК:

$$A_2 = 40 + 58,85 = 98,85 \text{ (дБ)};$$

Для БЗ:

$$A_3 = 40 + 51,25 = 91,25 \text{ (дБ)}.$$

Розрахуємо товщини захисних екранів виготовлених з алюмінію:

$$t = \frac{A}{5,2 \cdot \sqrt{f}}, \quad (6.9)$$

де f - найбільш характерна частота, ($f = 15$ кГц).

Для БЖ:

$$t_1 = \frac{103,2}{1,03 \cdot \sqrt{15000}} = 0,82 \text{ (см)};$$

Для БК:

$$t_2 = \frac{98,85}{1,03 \cdot \sqrt{15000}} = 0,78 \text{ (см);}$$

Для БЗ:

$$t_3 = \frac{91,25}{1,03 \cdot \sqrt{15000}} = 0,72 \text{ (см).}$$

Отже, при екрануванні блоку живлення та блоку керування з використанням пасивного екрану з алюмінію товщиною 0,82 см, 0,78 см та 0,72 см відповідно, система керування буде стійкою в умовах впливу електромагнітного імпульсу. Кращий результат буде забезпечуватись при застосуванні в якості матеріалу сталі.

Висновки

Також в даному розділі було проведено ряд розрахунків та на основі них визначено, що стійкість роботи системи мобільного зв'язку стійка при заданому рівні радіації 4,94 Р/год. До дії електромагнітних імпульсів системи мобільного зв'язку виявився нестійким. Застосування екранування РЕА суттєво підвищує його стійкість в умовах дії електромагнітного імпульсу.

В результаті застосування екранів пристрій буде працювати стійко аж до значення напруженості вертикальної складової 9,21 кВ/м. Ще одним додатковим варіантом підвищення стійкості роботи апаратури при впливі електромагнітного випромінювання є зменшення струмопровідних провідників шляхом вдосконалення схемоустаткування РЕА.

В результаті виконання даного розділу було опрацьовано такі питання охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях, як технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії, визначення межі лазерно-небезпечної зони для дифузно відбитого випромінювання (точкове джерело), технічні рішення з промислової та пожежної безпеки під час проведення дослідження системи широкосмугового доступу на основі волоконно-оптичних ліній зв'язку, безпека у надзвичайних ситуаціях.

ВИСНОВКИ

В роботі було проведено огляд та порівняння систем ширококутового доступу на основі ВОЛЗ; проаналізовано основні методи модуляції в ВОСП; проаналізовано пристрої, які використовуються в ВОСП; проведено комп'ютерне моделювання.

Огляд та порівняння систем ширококутового доступу на основі ВОЛЗ дали можливість визначити можливі варіанти топології, а також основні переваги та недоліки активних та пасивних систем ширококутового доступу.

Розглянуто способи модуляції в ВОСП. Проаналізовані основні види модуляції світла, визначені методи модуляції та демодуляції оптичної носійної. Розглянуті основні типи модуляторів та демодуляторів, які використовуються в ВОСП.

Функціонування системи ширококутового доступу на основі ВОЛЗ забезпечується такими пристроями: пристрої введення та виведення інформації, з'єднувачі, розгалужувачі, атенюатори, ізолятори, мультиплексори, ретранслятори, комутатори, та хвильові конвертери. У роботі проаналізовані різні варіанти виконання пристроїв та принципи їх функціонування.

Результати комп'ютерного моделювання пристроїв, які використовуються у системі ширококутового доступу на базі ВОЛЗ, показали, що всі вони виконують свої функції з прийнятними характеристиками. Зокрема, видно, що підсилювач забезпечує підсилення сигналу в 4 рази, для заданої смуги довжин хвилі 1530-1565 нм. Найбільше згасання вноситься оптичними розгалужувачами.

У роботі виконано також аналіз комерційного потенціалу досліджень ВОСП та прогнозування витрат на виконання науково-дослідної роботи. Зроблено також розрахунок ефективності вкладених інвестицій та період їх окупності.

В даній роботі було опрацьовано технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії, визначення допустимого часу перебування в зоні дії ЕМВ, технічні рішення з промислової та пожежної безпеки при проведенні дослідження та опрацьована безпека в надзвичайних ситуаціях.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Дэвид Бейли. Волновая оптика: теория и практика/ Дэвид Бейли, Эдвин Райт; пер. с англ. – М.: КУДИЦ – ПРЕСС, 2008. – 320 с.
2. Активные и пассивные оптические сети [Электронный ресурс]: http://tkc.by/ru/infocenter/articles/aktivnie_i_passivnie_opticheskie_seti_preimushchestva_nedostatki-600.html
3. Козловський В. О. Техніко – економічні обґрунтування та економічні розрахунки в дипломних проектах та роботах: навчальний посібник/Козловський Володимир Олександрович. – Вінниця: ВДТУ, 2003. – 75с.
4. All-Optical Networking Consortium: WDM Description. 1996, [Электронный ресурс]:<http://www.ll.mit.edu/aon/aonwdm.html>
5. T. Krause. "Migration to All-Optical Networks". Alcatel Network Systems, 1998, [Электронный ресурс]: <http://www.usa.alcatel.com/telecom/transpVoptical/techpaps/migration/>
6. WDM Cross-Connect Technology, Oki Electric Industry, 1996, [Электронный ресурс]: <http://www.oki.co.jp/OKI/RDG/English/kikaku/okayama/main.html>.
7. Photonic Technologies Area: BillBoard, 1998, [Электронный ресурс]: <http://www.intec-rug.ac.be/horizon/bitlboard.htm>.
8. Optical wavelength multiplexer/demultiplexer (Wavelength router). Oki Electric Industry Co., 1996, [Электронный ресурс]: <http://www.oki.co.jp/OKI/RDQ/English/kikaku/okayama/eWAG.html>.
9. S. Cortez and M. Dickerson. "Enabling the all-optical network". America's Networks, 1998, [Электронный ресурс]: http://www.americasnetwork.com/issues/98issues/980201/980201_optical.html.
10. Петренко И.И. "Пассивные оптические сети PON Часть 2. Ethernet на первой миле"/ И.И. Петренко, Р.Р. Убайдуллаев. – к.ф.-м.н Lightware Russian edition, N2,2004 год. – 153 с.

11. DWDM Channel Spacing: Do You Know How Much Capacity You're Really Getting? Alcatel Network Systems, 1998, [Электронный ресурс]: <http://www.usa.alcatel.com/telecom/transpt/optical/techpaps/ad9804/>
12. MultiWave Sentry 4000; DWDM transport system. CIENA Corporation, 1998, [Электронный ресурс]: <http://www.ciena.com/products/mwsentry4000.html>.
13. IEEE, IEEE Std 802.3, "Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD) Access Method and Physical Layer Specifications," March 2002.
14. Нойкин Ю.М. Физические основы оптической связи/ Ю.М. Нойкин, П.В. Махно - Ростов-на-Дону: ЮФУ, 2011. – 271 с.
15. Строительство и техническая эксплуатация волоконно-оптических линий связи; под ред. Б.В. Попова. – М.: Радио и связь, 1996. – 200 с.
16. Гребнев, А.К. Оптоэлектронные элементы и устройства/ А.К. Гребнев, В.Н. Гридин, В.П. Дмитриев; под ред. Ю.В. Гуляева. – М.: Радио и связь, 1998. – 336 с.
17. Фриман, Р. Волоконно-оптические системы связи/ Р. Фриман. – М.: Техносфера, 2006. – 496 с.
18. GainMaster™ Amplifier Design Software Manual/ Fibercore Limited, 2004. – 63 с.
19. ГОСТ 12.0.003-74.ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
20. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.
21. ДБН В.2.5-28-2006. Природне і штучне освітлення.
22. Пособие по расчету и проектированию, естественного, искусственного и совмещенного освещения НИИСФ – М.: Стройиздат. 1985. – 384 с.
23. ДСН 3.3.6-037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку.
24. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої та загальної вібрацій.

- 25.ГОСТ 12.2.032-78. ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.
- 26.Методичні вказівки до опрацювання розділу "Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях" в дипломних проектах і роботах студентів спеціальностей, що пов'язані з функціональною електронікою, автоматизацією та управлінням / Уклад. О. В. Березюк, М. С. Лемешев. – Вінниця : ВНТУ, 2012. – 64 с.
- 27.ДНАОП 0.00-1.21-98 Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. – К. : Держнаглядохоронпраці, 1998. – 382 с.
- 28.ДБН В.2.5-27-2006. Захисні заходи електробезпеки в електроустановках будинків і споруд.
- 29.ДБН В.1.1.7-2002. Пожежна безпека об'єктів будівництва.
- 30.НАПБ Б.03.001-2004. Типові норми належності вогнегасників.
- 31.СНиП 2.09.02-85. Противопожарные нормы проектирования зданий и сооружений.
- 32.СанПиН 5804-91. Санитарные нормы и правила устройства и эксплуатации лазеров.

ВНТУ ФІРЕН
ТКСТЬ МКР 2019

ДОДАТКИ

Додаток А
(обов'язковий)
ВНТУ

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав.кафедри ТКСТБ ВНТУ,

канд. техн. наук, професор

_____ Г.Г.Бортник

“ _____ ” _____ 2019 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на виконання магістерської кваліфікаційної роботи

СИСТЕМА ШИРОКОСМУГОВОГО ДОСТУПУ НА ОСНОВІ ВОЛОКОННО-
ОПТИЧНИХ ЛІНІЙ ЗВ'ЯЗКУ
08-34.МКР.009.00.000ТЗ

Керівник роботи

к.т.н., проф. кафедри ТКСТБ ВНТУ

Барась С.Т.

Виконавець: ст. гр. ТТК-18м

Свіргун І.М.

Вінниця-2019

1 ПІДСТАВА ДЛЯ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Робота проводиться на підставі наказу ректора по Вінницькому національному технічному університету від “02” 10 2019 року № 254 та індивідуального завдання на магістерську кваліфікаційну роботу.

Дата початку роботи: 02.09.2019 р.

Дата закінчення: 12.12.2019 р.

2 МЕТА І ПРИЗНАЧЕННЯ МКР

Метою даної кваліфікаційної роботи є розробка рекомендацій щодо оптимізації вибору параметрів оптичних розгалужувачів для локальної мережі широкосмугового доступу. Критеріями оптимізації виступають швидкості передачі інформації та топологія оптичної мережі.

Задачами магістерської кваліфікаційної роботи є:

- розробка технічного завдання;
- огляд та порівняння систем широкосмугового доступу на основі волоконно-оптичної лінії зв'язку;
- аналіз основних методів модуляції у волоконно-оптичних системах передачі;
- розробка системи широкосмугового доступу;
- аналіз параметрів та характеристик пристроїв ВОСП;
- комп'ютерне моделювання.

Об'єктом дослідження є система широкосмугового доступу на основі волоконно-оптичної лінії зв'язку.

Предмет дослідження є швидкість та дальність передачі інформаційного сигналу з аналізом факторів, що їх обмежують.

Основними завданнями роботи є:

- огляд та порівняння систем широкосмугового доступу на основі ВОЛЗ;
- аналіз методів та засобів модуляції оптичного променя у ВОСП;
- аналіз характеристик модуляцій, що використовуються в технології;

- визначення умов функціонування оптичного обладнання;
- комп'ютерне моделювання;
- аналіз економічної ефективності проведеної розробки;
- дослідження питань безпеки життєдіяльності.

В результаті виконання даної кваліфікаційної роботи будуть встановлені потенційні можливості різних видів топології оптичних мереж з точки зору швидкості та дальності передачі інформаційного сигналу, а також встановлені залежності швидкості та дальності передачі інформаційного сигналу від характеристик оптичного обладнання.

3 ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ МКР

Робота базується на результатах бакалаврської дипломної роботи, яка виконувалась у ВНТУ у 2017/2018 н.р. Під час підготовки магістерської кваліфікаційної роботи будуть використані матеріали цієї БДР.

Список використаних джерел розробки:

1. Дэвид Бейли. Волновая оптика: теория и приктика/ Дэвид Бейли, Эдвин Райт; пер. с англ. – М.: КУДИЦ – ПРЕСС, 2008. – 320 с.
2. Активные и пассивные оптические сети [Електронний ресурс]: http://tkc.by/ru/infocenter/articles/aktivnie_i_passivnie_opticheskie_seti_preimushchestva_nedostatki-600.html
3. Козловський В. О. Техніко – економічні обґрунтування та економічні розрахунки в дипломних проектах та роботах: навчальний посібник/Козловський Володимир Олександрович. – Вінниця: ВДТУ, 2003. – 75с.
4. All-Optical Networking Consortium: WDM Description. 1996, [Електронний ресурс]:<http://www.ll.mit.edu/aon/aonwdm.html>
5. WDM Cross-Connect Technology, Oki Electric Industry, 1996, [Електронний ресурс]: <http://www.oki.co.Jp/OKI/RDG/English/kikaku/okayama/main.html>.
6. Photonic Technologies Area: BillBoard, 1998, [Електронний ресурс]: <http://www.intec-rug.ac.be/horizon/bitlboard.htm>.

7. Optical wavelength multiplexer/demultiplexer (Wavelength router). Oki Electric Industry Co., 1996, [Электронный ресурс]: <http://www.oki.co.jp/OKI/RDQ/English/kikaku/okayama/eWAG.html>.
8. S. Cortez and M. Dickerson. "Enabling the all-optical network". America's Networks, 1998, [Электронный ресурс]: http://www.americasnetwork.com/issues/98issues/980201/980201_optical.html.
9. Петренко И.И. "Пассивные оптические сети PON Часть 2. Ethernet на первой миле"/ И.И. Петренко, Р.Р. Убайдуллаев. – к.ф.-м.н Lightware Russian edition, N2,2004 год. – 153 с.
10. DWDM Channel Spacing: Do You Know How Much Capacity You're Really Getting? Alcatel Network Systems, 1998, [Электронный ресурс]: <http://www.usa.alcatel.com/telecom/transpt/optical/techpaps/ad9804/>
11. MultiWave Sentry 4000; DWDM transport system. CIENA Corporation, 1998, [Электронный ресурс]: <http://www.ciena.com/products/mwsentry4000.html>.
12. IEEE, IEEE Std 802.3, "Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD) Access Method and Physical Layer Specifications," March 2002.
13. Нойкин Ю.М. Физические основы оптической связи/ Ю.М. Нойкин, П.В. Махно - Ростов-на-Дону: ЮФУ, 2011. – 271 с.
14. Строительство и техническая эксплуатация волоконно-оптических линий связи; под ред. Б.В. Попова. – М.: Радио и связь, 1996. – 200 с.
15. Гребнев, А.К. Оптоэлектронные элементы и устройства/ А.К. Гребнев, В.Н. Гридин, В.П. Дмитриев; под ред. Ю.В. Гуляева. – М.: Радио и связь, 1998. – 336 с.
16. Фриман, Р. Волоконно-оптические системы связи/ Р. Фриман. – М.: Техносфера, 2006. – 496 с.
17. GainMaster™ Amplifier Design Software Manual/ Fibercore Limited, 2004. – 63 с.
18. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.

19. ПДК 4617-88. Список ПДК вредных веществ в воздухе рабочей зоны.
20. ДСанПіН 3.3.6.096-2002. Санітарні норми і правила при роботі з джерелами електромагнітних полів.
21. ДБН В.2.5-28-2006. Природне і штучне освітлення.

4 ВИКОНАВЕЦЬ

Вінницький національний технічний університет, кафедра телекомунікаційних систем та телебачення, студент групи ТТК-18м Свіргун І.М.

5 ВИМОГИ ДО ВИКОНАННЯ МКР

Пропонується виконати дослідження мультисервісної системи широкосмугового доступу на основі ВОЛЗ.

Технічні вимоги, яким повинна відповідати розробка, наступні:

- Швидкість передачі інформації $V=10$ Гбіт/с;
- Робочі довжини хвиль 1310 нм, 1550 нм, 1490 нм;
- Корекція помилок FEC для збільшення числа вузлів, підключених до одного фідерного волокна;
- Рівень помилок BER - 10^{-12} ;
- Відстань до 20 км;
- Модуляції по інтенсивності, частотна, фазова, поляризаційна.

6 ЕТАПИ МКР І ТЕРМІНИ ЇХ ВИКОНАННЯ

№	Назва та зміст етапу	Термін виконання		Очікувані результати	Звітна документація
		початок	закінчення		
1.	Розробка технічного завдання	5.09.2019р.	12.09.2019 р.	Розроблене ТЗ	Додаток А
2.	Техніко-економічне обґрунтування розробки	13.09.2019р.	20.09.2019 р.	Проведений аналіз	Вступ. Розділ 1

3.	Огляд та порівняння систем ширококутового доступу на основі ВОЛЗ	21.09.2019р.	12.10.2019 р.	Проведений аналіз	Розділ 1
4.	Аналіз методів та засобів модуляції оптичного променя у ВОСП	13.10.2019р	20.10.2019 р.	Структурна схема	Розділ 2
5.	Визначення умов функціонування оптичного обладнання	21.10.2019р.	03.11.2019 р.	Характеристики і параметри	Розділ 3
6.	Комп'ютерне моделювання	04.11.2019р.	10.11.2019р.	Результати моделювання	Розділ 4
7.	Аналіз економічної ефективності розробки	11.11.2019р.	14.11.2019 р.	Проведений аналіз	Розділ 5
8.	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	15.11.2019р.	20.11.2019 р.	Проведений аналіз	Розділ 6
9.	Оформлення пояснювальної записки та графічної частини	21.11. 2019р.	25.11.2019 р.	Оформлена документація	ПЗ та графічна частина
10.	Нормоконтроль МКР	26.11.2019р.	30.11.2019 р.	Позитивний захист	Відзив. рецензія
11.	Попередній захист МКР, рецензування МКР	30.11.2019р.	02.12.2019 р.	Позитивні відзиви	Протокол ЕК
12.	Захист МКР ЕК	12.12.2019 р.		Захист	

7 ОЧІКУВАНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ПОРЯДОК РЕАЛІЗАЦІЇ МКР

В результаті виконання роботи будуть розроблені:

- оптимальні види топології оптичної мережі;
- рекомендації щодо ефективного використання оптичного обладнання;
- економічна частина МКР;
- розділ ОП та БНС.

Результати, отримані в процесі виконання даної роботи, будуть впроваджені в галузі телекомунікацій, зокрема, у навчальному процесі.

Очікуваний техніко-економічний ефект. При впровадженні результатів досліджень очікується підвищення ефективності використання технології PON.

8 МАТЕРІАЛИ, ЯКІ ПОДАЮТЬ ПІСЛЯ ЗАКІНЧЕННЯ РОБОТИ ТА ПІД ЧАС ЕТАПІВ

За результатами виконання МКР до ЕК подаються пояснювальна записка, графічна частина МКР, відзив і рецензія.

9 ПОРЯДОК ПРИЙМАННЯ МКР ТА ЇЇ ЕТАПІВ

Поетапно результати виконання МКР розглядаються керівником роботи та обговорюються на засіданні кафедри.

Захист магістерської кваліфікаційної роботи відбувається на відкритому засіданні ЕК.

10 ВИМОГИ ДО РОЗРОБЛЮВАНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ

Документація, що розробляється в процесі виконання досліджень повинна містити:

- топологію оптичної мережі та методику її тестування;
- аналіз функціонування оптичного обладнання;
- економічну частину та розділ БЖД і ЦЗ.

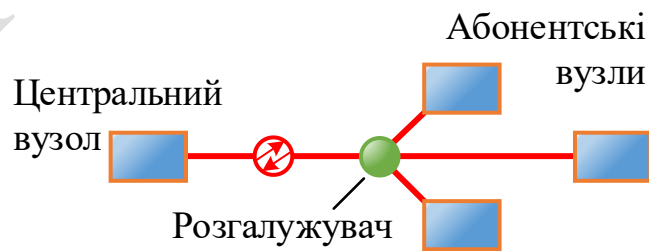
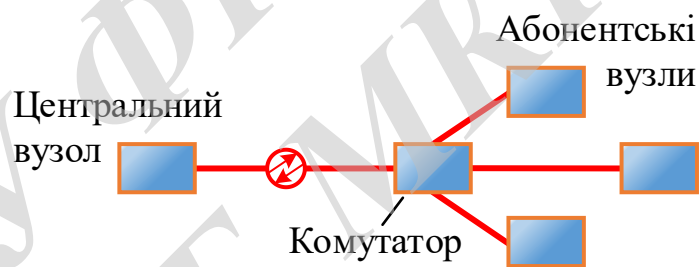
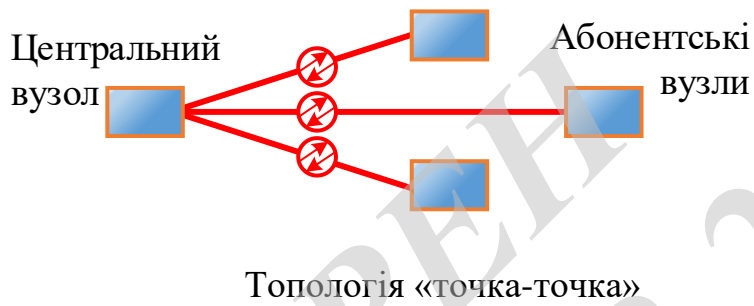
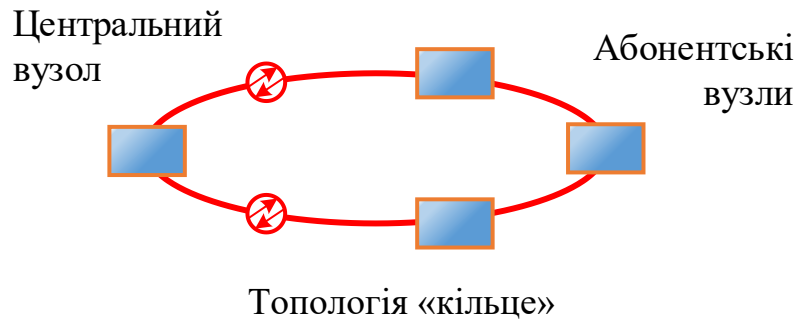
11 ВИМОГИ ЩОДО ТЕХНІЧНОГО ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ З ОБМЕЖЕНИМ ДОСТУПОМ

У зв'язку з тим, що інформація не є конфіденційною, заходи з її технічного захисту не передбачаються.

ДОДАТОК Б
(обовязковий)

Топології побудови мережі PON

ВНТУ ФІРЕН
ТКСТЬ МКР 2019



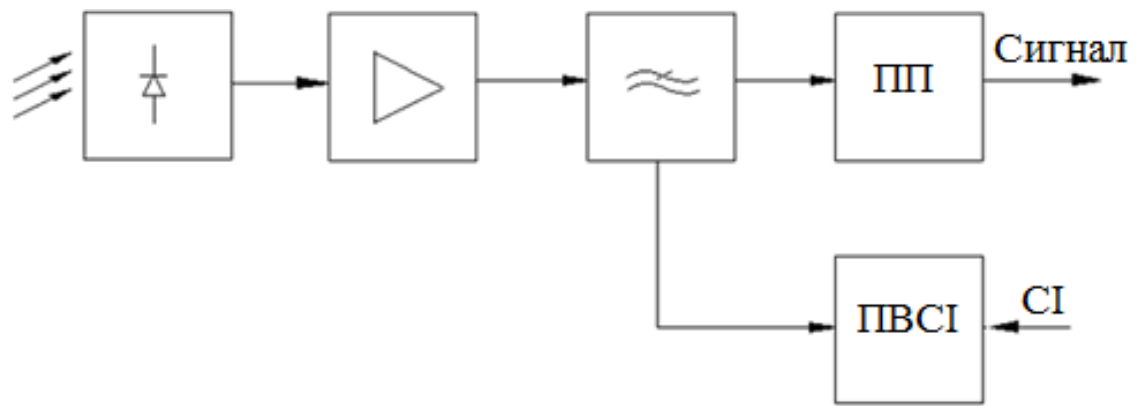
Топологія «дерево з пасивним оптичним розгалудженням»

ВНТУ ФІРЕН
ТКСТЬ МКР 2019

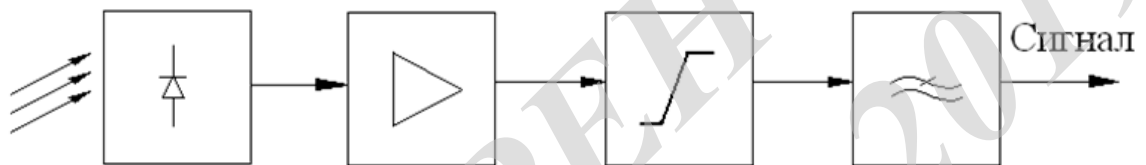
ДОДАТОК В
(обов'язковий)

Структурні схеми демодуляторів оптичних сигналів

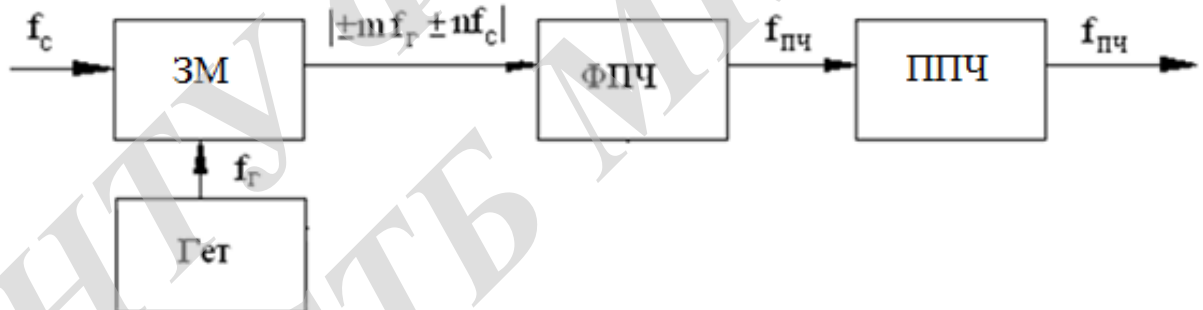
ВНТУ ФІРЕН
ТКСТЬ МКР 2019



а) Приймач оптичного випромінювання, промодульованого цифровим сигналом



б) Приймач оптичних сигналів з аналоговою модуляцією

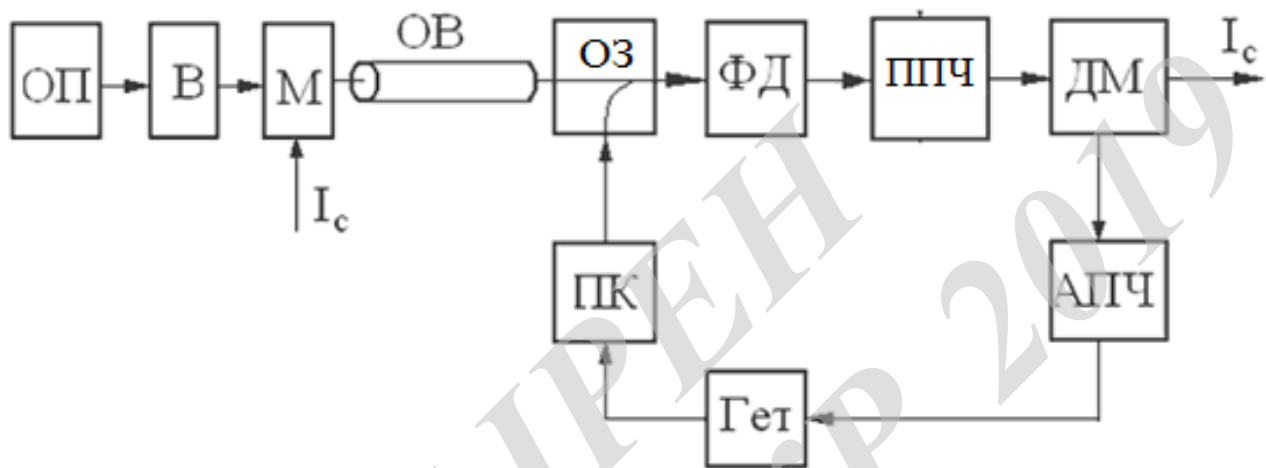


в) Гетеродинний перетворювач частоти

ДОДАТОК Г
(обов'язковий)

Структурна схема когерентної ВОСП

ВНТУ ФІРЕН
ТКСТЬ МКР 2019



Структурна схема когерентної ВОСП

ДОДАТОК Д
(обов'язковий)

Схема п'ятиканального демультіплексора

ВНТУ ФІРМЕН
ТКСТЬ МКР 2019

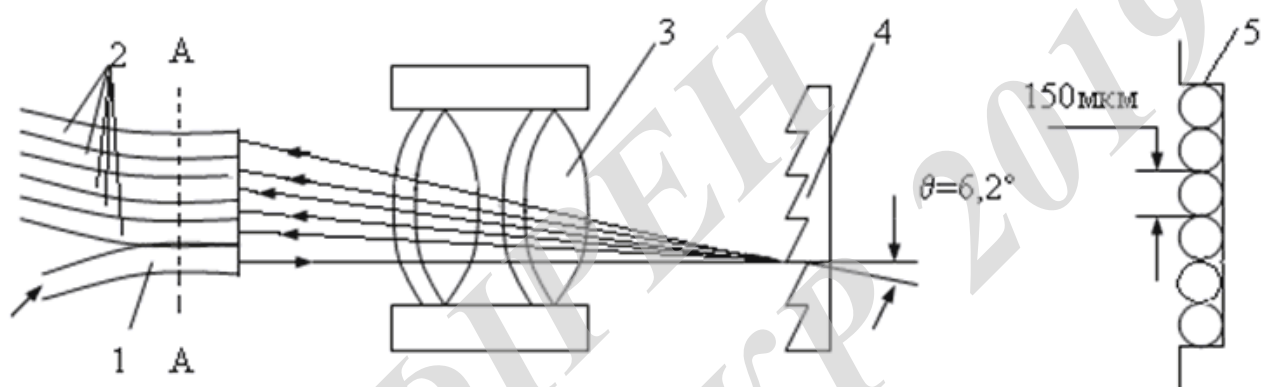
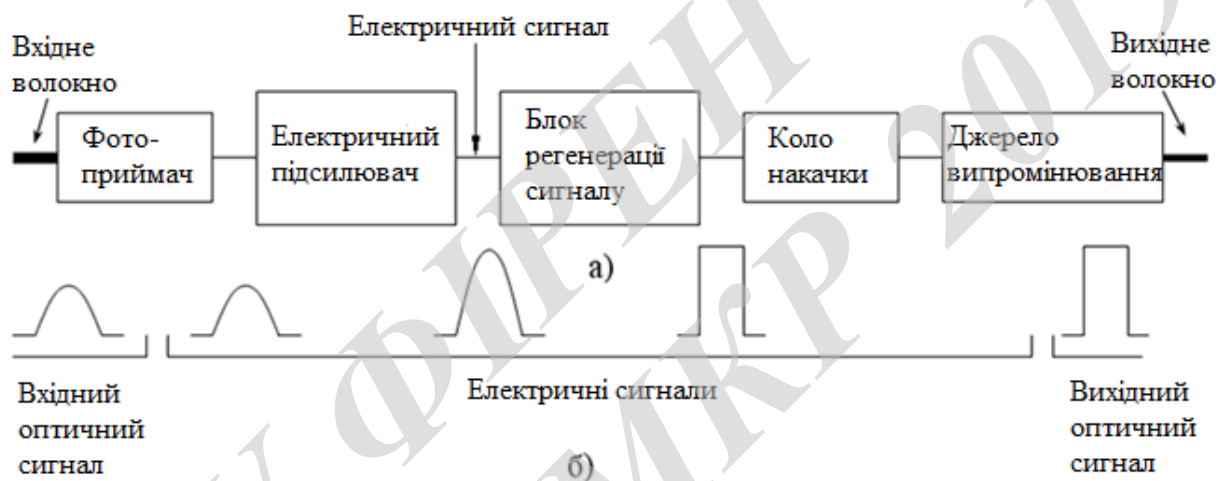


Схема п'ятиканального демультиплексора

ДОДАТОК Е
(обов'язковий)

Структурна схема електронно-оптичного повторювача та форма оптичного і
електричного сигналів

ВНТУ ФІРЕН
ТКСТЬ МКР 2019



Структурна схема електронно-оптичного повторювача та форма оптичного і електричного сигналів

ДОДАТОК Ж
(обов'язковий)

Структурна схема оптичного підсилювача на домішковому волокні

ВНТУ ФІРЕН
ТКСТЬ МКР 2019

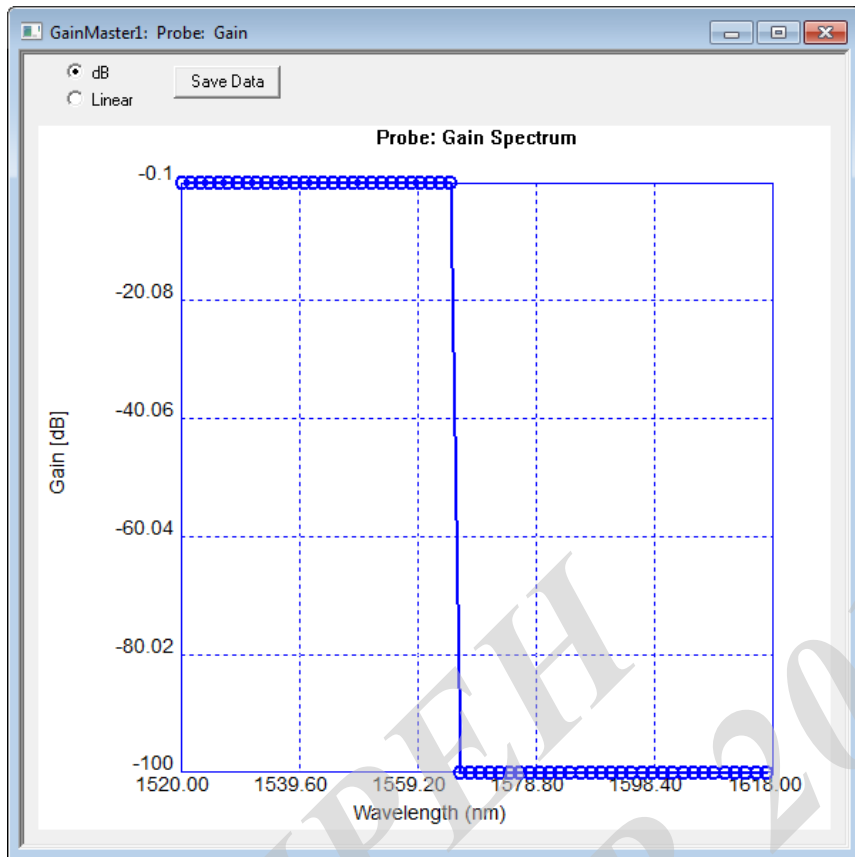


Структурна схема оптичного підсилювача на домішковому волокні

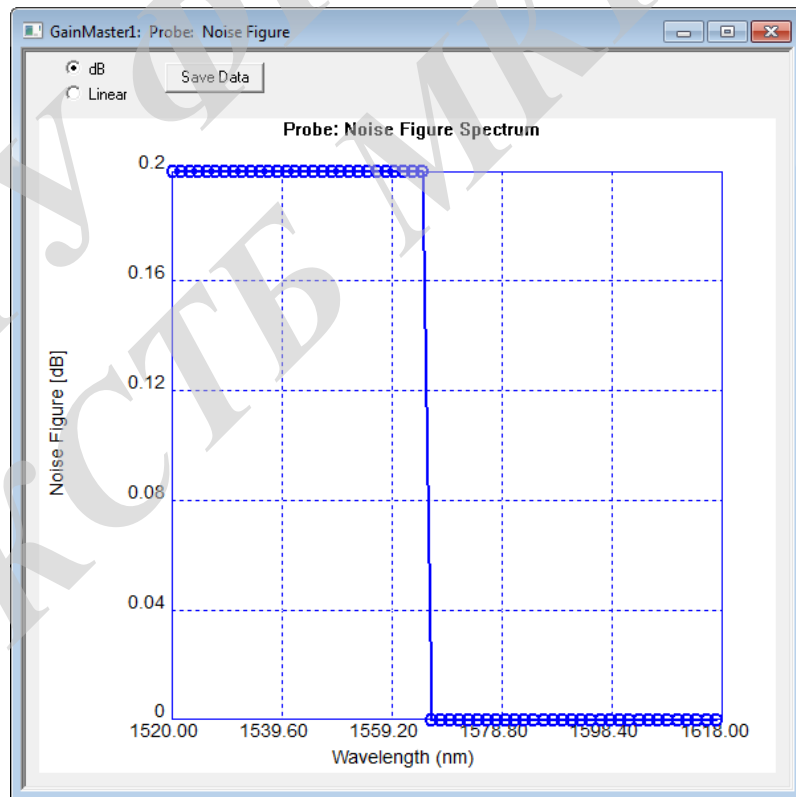
ДОДАТОК 3
(обов'язковий)

Результати моделювання

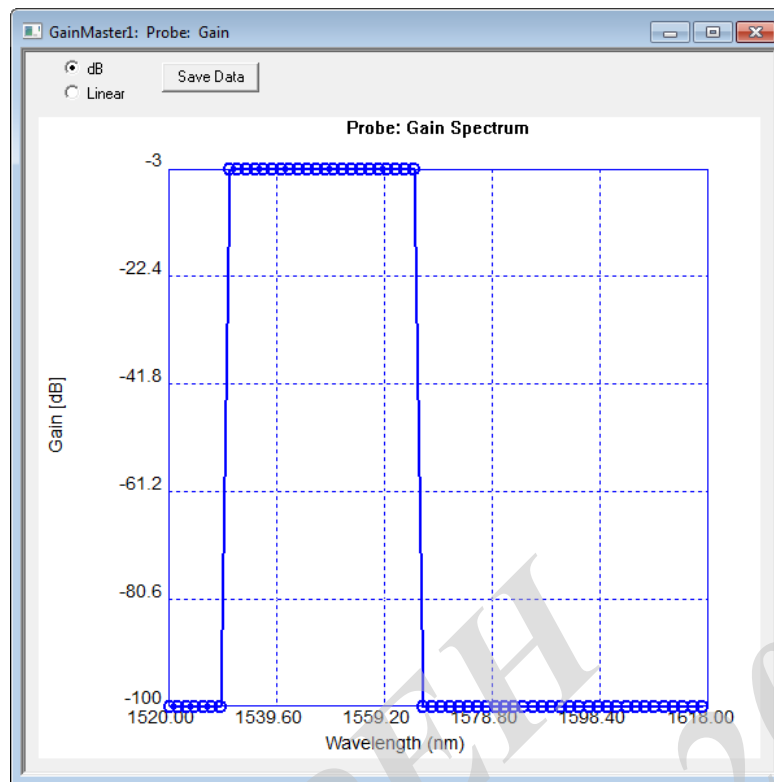
ВНТУ ФІРЕН
ТКСТЬ МКР 2019



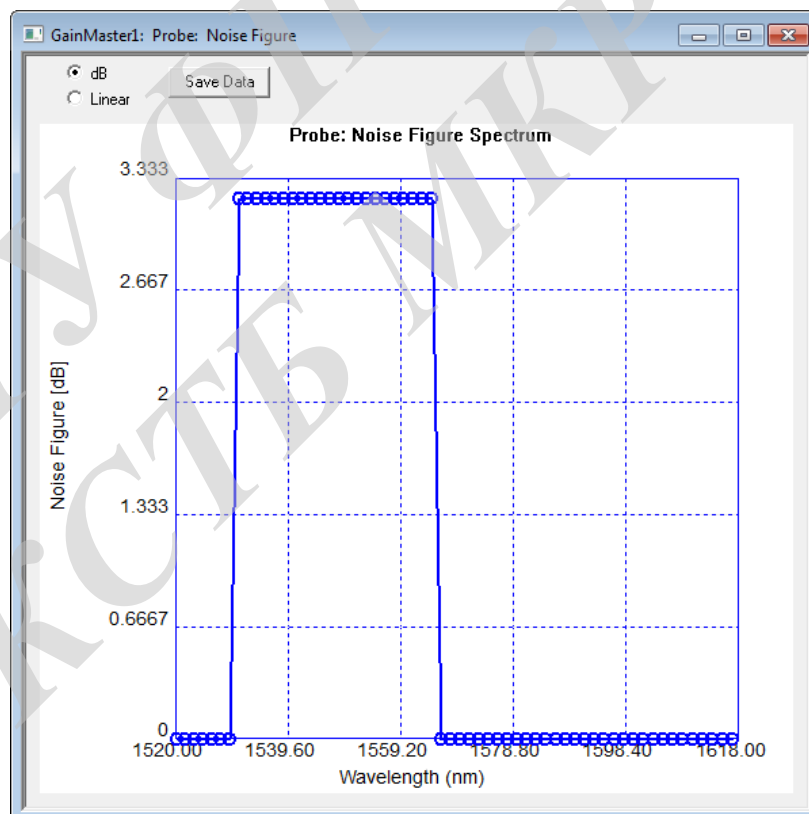
Внесене згасання оптичного з'єднувача



Шуми, які вносяться на оптичному з'єднувачі



Згасання оптичного сигналу на розгалужувачі C11



Шуми які вносяться оптичним розгалужувачем

Додаток Е
(довідковий)

Нормовані значення виробничих факторів

ВНТУ ФІРЕН
ТКСТЬ МКР 2019

Таблиця Е.1 – Допустимі показники мікроклімату

Період року	Категорія робіт	Температура повітря, °С для робочих місць		Відносна вологість повітря, %	Швидкість руху повітря, м/с
		постійних	непостійних		
Холодний	Ia	21-25	18-26	75	≤0,1
Теплий		22-28	20-30	55 при 28°С	0,1-0,2

Таблиця Е.2 – Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин [4]

Назва речовини	ГДК, мг/м ³	Агрегатний стан	Клас небезпеки
Озон	0,1	Пара	4
Оксиди азоту	5	Пара	2
Пил	4	Аерозоль	2

Таблиця Е.3 – Кількість іонів в 1 см³ повітря приміщення при роботі на ЕОМ

Рівні	Мінімально необхідні	Оптимальні	Максимально допустимі
позитивний	400	1500-3000	50000
негативний	600	3000-5000	50000

Таблиця Е.4 – Нормовані значення коефіцієнта природного освітлення та мінімальні освітленості для штучного освітлення

Характеристика зорової роботи	Найменший розмір об'єкта розрізнення, мм	Розряд зорової роботи	Підрозряд зорової роботи	Контраст об'єкта розрізнення з фоном	Характеристика фону	Освітленість для штучного освітлення, лк			КПО для бокового освітлення, %	
						комбіноване		загальне	Природного	Суміщеного
						всього	у т. ч. від загального			
Середньої точності	0,5-1	IV	в	середній	середній	400	200	200	1,5	0,9

Таблиця Е.5 – Допустимі рівні шуму і еквівалентні рівні звуку

Рівні звукового тиску в дБ в октавних полосах із середньо-геометричними частотами, Гц									Рівні звуку та еквівалентні рівні звуку, дБА
31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

Таблиця Е.6 – Допустимі рівні вібрації [6]

Гранично допустимі рівні віброприскорення, дБ, в октавних полосах із середньо-геометричними частотами, Гц								Коректовані рівні віброприскорення, дБА
8	16	31,5	63	125	250	500	1000	
73	73	79	85	91	97	103	109	76

Таблиця Е.7 – Значення мінімальних меж вогнестійкості приміщення [11]

Ступінь вогнестійкості будівлі	Стіни						Плити та інші несучі конструкції	Елементи покриття	
	Несучі та східчасті клітки	Самонесучі	Зовнішні несучі	Перегородки	Колони	Східчасті майданчики		Плити, прогони	Балки, ферми
2	REI 120 M0	REI 60 M0	E 15 M0	EI 15 M0	R 120 M0	R 60 M0	REI 45 M0	REI 15 M0	R 30 M0

Примітка. R – втрати несучої здатності; E – втрати цілісності; I – втрати теплоізолювальної спроможності; M – показник здатності будівельної конструкції поширювати вогонь (межа поширення вогню); M0 – межа поширення вогню дорівнює 0 см.