

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Факультет електроніки
(повна назва інституту/факультету)

Кафедра мікроелектроніки
(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

А.Т.Орлов

(підпис)

(ініціали, прізвище)

“ ” 20__ р.

Дипломна робота

на здобуття ступеня бакалавра

з напрямку підготовки

153 Мікро-та наносистемна техніка

(код і назва)

на тему: Оптичний відгалужувач

Виконав: студент IV курсу, групи ДП-72

Чорний Ярослав Васильович

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Керівник доц.. к.т.н., Домбругов М.Р.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Консультант з нормоконтролю проф., к.т.н., доц.. Орлов А.Т.

Консультант з інформаційних питань доц.. к.т.н., Діденко Ю.В.

Рецензент

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цій дипломній роботі немає
запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент

(підпис)

Київ – 2021 рік

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Інститут/факультет _____ факультет електроніки _____

(повна назва)

Кафедра _____ кафедра мікроелектроніки _____

(повна назва)

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність (спеціалізація) _____ 153 Мікро- і наносистемна техніка _____

(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о.завідувача кафедри

_____ А.Т. Орлов

(підпис)

(ініціали, прізвище)

«__» _____ 2021р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проект (роботу) студенту

_____ Чорному Ярославу Васильовичу _____

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Оптичний відгалужувач

керівник проекту (роботи) _____ доц.. к.т.н., Добругов Михайло Ремович

затверджені наказом по університету від «__» _____ 20__ р. № _____

2. Строк подання студентом проекту (роботи) _____

3. Вихідні дані до проекту (роботи): інформаційні матеріали про пасивні елементи оптоволоконних мереж, нинішня топологія сегменту мережі «УРАН» в м.Києві.

4. Зміст (дипломної роботи) : обґрунтувати актуальність теми. Провести аналіз мереж з технологіями спектрального ущільнення. Дослідити структуру, функції,

ринок та технічні параметри оптичного відгалужувача. Розробити вдосконалену топологію сегменту мережі «УРАН» в м.Києві району Академмістечко

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо) Презентація – структура, функціонування, ринок оптичного відгалужувача, технології виготовлення фільтрів, таблиці характеристик використаних приладів, ілюстрація топологій та схем підключення мережі.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 04.02.2021

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Підпис керівника
1.	Аналіз технологій спектрального ущільнення	лютий 2021	
2.	Вимірювання робочих характеристик, дослідження структури та функціонування OADM	березень 2021	
3.	Обробка експериментальних результатів	квітень 2021	
4.	Розробка вдосконаленої топології	травень 2021	
5.	Оформлення дипломної роботи	червень 2021	

Студент

(підпис)

Чорний Я.В.
(ініціали, прізвище)

Керівник проекту (роботи)

(підпис)

Домбругов М.Р.
(ініціали, прізвище)

* Консультантом не може бути зазначено керівника дипломного проекту (роботи)

РЕФЕРАТ

Дипломна робота містить основну частину на 57 сторінках, 4 розділи, 28 ілюстрацій, 7 таблиць і 16 джерел в переліку посилань.

Об'єктом дослідження є топологія волоконно-оптичної мережі «УРАН» в м. Києві району Академмістечко.

Предметом дослідження є оптичний мультиплексор введення/виведення та технології спектрального ущільнення оптичних каналів на різних спектральних каналах.

Метою роботи є розробка модернізованої топології волоконно-оптичної лінії зв'язку в сегменті «УРАН» в м. Києві, району Академмістечко з технологією грубого спектрального ущільнення.

Розроблено топологію волоконно-оптичної мережі із застосуванням технології CWDM. Нова мережа зв'язку забезпечує безперебійне постачання сигналу абонентам з швидкістю 10 Гбіт/с. Та знижуючи вплив проблем з обладнанням та енергопостачанням на вузлах, до яких під'єднані їхні точки присутності.

Ключові слова: СПЕКТРАЛЬНЕ УЩІЛЬНЕННЯ, МУЛЬТИПЛЕКСОР, ДЕМУЛЬТИПЛЕКСОР, OADM, ТРАНСИВЕР, ВІДГАЛУЖУВАЧ, КОМУТАТОР, ДОВЖИНА ХВИЛІ, ФІЛЬТР, ТОПОЛОГІЯ.

ABSTRACT

Thesis contains the main part of 57 pages, 4 sections, 28 illustrations, 7 tables and 16 sources in the list of references.

The object of the study is the topology of the fiber-optic network "URAN" in Kyiv, Akademgorodok district.

The subject of research is the optical input / output multiplexer and the technology of spectral compression of optical channels on different spectral channels.

The aim of the work is to develop a modernized topology of the fiber-optic communication line in the segment "URAN" in Kyiv, Akademgorodok district with the technology of coarse spectral compaction.

The topology of the fiber-optic network with the use of CWDM technology has been developed. The new communication network provides uninterrupted signal supply to subscribers at a speed of 10 Gbps. But reducing the impact of equipment and power supply issues on the nodes to which their points of presence are connected.

Keywords: SPECTRAL COMPACTION, MULTIPLEXOR, DEMULTIPLEXOR, OADM, TRANSIVER, BRANCH, SWITCH, FILTER, WAVELENGTH TOPOLOGY.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ	8
ВСТУП.....	9
1.ТЕХНОЛОГІЯ УЩІЛЬНЕННЯ ОПТИЧНИХ КАНАЛІВ.....	10
1.1 Дуплексний зв'язок.....	10
1.2 WDM.....	11
1.3 Недоліки «простих» оптичних систем зв'язку.	12
1.4 CWDM.....	13
1.5 DWDM.....	17
2.1 ОПТИЧНИЙ МУЛЬТИПЛЕКСОР ВВЕДЕННЯ/ВИВЕДЕННЯ.....	19
2.1.1 Основні функції OADM	20
2.1.2 Дослідження технічних характеристик	22
2.1.3 Ринок OADM.....	23
2.1.4 Структура OADM	25
2.2 Оптичні технології введення/виведення несучих	28
2.2.1 Фільтри на основі оптоволоконних дифракційних решітках Брегга	28
2.2.2 Фільтри на основі інтерферометра Фабрі-Перо	29
2.2.3 Інтерференційні фільтри на тонких плівках	31
2.2.4 Поляризаційні фільтри на рідких кристалах.....	32
2.2.5 Акустооптичні перебудовувані фільтри.....	33
2.3 Різновиди OADM	35
2.3.1 FOADM	35

2.3.2 ROADМ.....	35
2.3.3 Порівняння FOADM і ROADМ.....	36
3.1 ВПРОВАДЖЕННЯ OADM В ОПТО-ВОЛОКОННУ МЕРЕЖУ	37
3.1.1 CWDM Mux / Demux	37
3.1.2 Оптичний приймач CWDM.....	37
3.1.3 CWDM OADM.....	38
3.2 Приклади впровадження CWDM з OADM.....	38
3.2.1 Перший приклад.....	38
3.2.2 Приклад другий.....	40
4. ОНОВЛЕННЯ МІСЬКОЇ ВОЛОКОННО-ОПТИЧНОЇ МЕРЕЖІ «УРАН» В м.КИЄВІ РАЙОНУ АКАДЕММІСТЕЧКО.....	42
4.1 Аналіз наявної волоконної мережі.....	42
4.2 Розробка мережі з CWDM технологією	44
4.2.1 Обладнання, необхідне для реалізації проекту	44
4.2.2 Оптичний мультиплексор.....	45
4.2.3 SFP-трансивери.....	47
4.2.4 Оптичні відгалужувачі.....	49
4.2.5 Вузлові комутатори.....	51
4.3 Розробка топології мережі «УРАН» в м.Києві району Академмістечко, на основі технології спектрального ущільнення.	51
ВИСНОВКИ.....	55
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ:.....	56

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

MMF – Multi Mode Fiber.

SMF – Single Mode Fiber.

WDM – Wavelength Division Multiplexing.

CWDM – coarse wavelength-division technology.

DWDM – Dense Wavelength Division Multiplexing.

OF – Optical filter.

MUX – multiplexer.

DEMUX – demultiplexer.

РК – рідкий кристал.

АХХ – амплітудно хвильова характеристика.

OADM – optical add-drop multiplexer.

FOADM – Fixed Optical Add/Drop Multiplexer.

ROADM – Reconfigurable optical add-drop multiplexer.

ВСТУП

У оптично-волоконних мережах передачі даних найважливішу роль відіграють мультиплексори / демультимплексори. З розвитком оптичних технологій передачі все більшої потреби отримують оптичні мультиплексори / демультимплексори введення/виведення.

Технологія об'єднання(мультиплексування) спектрального розподілу хвиль, що виникла у 1980-х роках, спочатку застосовувалася у магістральних мережах, але з 1990-х років широко використовувалася в міських та регіональних сполученнях. Розвиток волоконно-оптичних систем зв'язку з технологіями спектрального ущільнення не стоїть на місці і вдосконалюється кожного року. Пропускна здатність з роками слід було збільшувати, за рахунок появи більшої кількості абонентів. Випливаючи з цього, одним з рішень проблеми, стало грубе спектральне ущільнення (CWDM).

Розвиток подібних технологій став можливим завдяки вдосконаленню оптичних волокон, що дозволило збільшити його смугу пропускання від 30 до 340 нм. Зміна затухання в смузі пропускання збільшила крок між несучими довжинами хвилі понад в 10 разів, і тим самим спростивши їх фільтрацію на стороні абонента(отримувача), зменшивши вартість обладнання. Ще на розвиток даних технологій вплинув розвиток пасивних оптичних мультиплексорів введення/виведення, дозволяючих виділити одну або декілька довжин хвиль з всього спектрального розподілу хвиль. Так топології міських та регіональних мереж стали більш зручними, даючи можливість підключатися більшій кількості абонентів по одному оптичному волокну, а також достатню надійність в процесі експлуатації знижуючи можливість «падіння» системи.

1.ТЕХНОЛОГІЯ УЩІЛЬНЕННЯ ОПТИЧНИХ КАНАЛІВ

1.1 Дуплексний зв'язок

Для розуміння теми оптичного відгалужувача слід спочатку розібратись, що таке дуплексний зв'язок: такий спосіб зв'язку передбачає, що передача і прийом ведеться одночасно кожним учасником зв'язку по оптичному волокні, причому потоки даних на передачу і на прийом для кожного конкретного учасника обміну, мають бути фізично розділені між собою.

Іншими словами, до кожного мережевого пристрою має підходити мінімум дві незалежні лінії зв'язку: одна на передачу даних, друга - на прийом.

Тобто використовуються два фізичних незалежних канали (два волокна, по одному з яких сигнал передається «туди», по іншому - «звідти»), в кожному з яких світловий сигнал передається на одній довжині хвилі (це твердження підходить для класичних оптоволоконних ліній зв'язку).

Головна особливість двоволоконного (дуплексного) зв'язку - це можливість роботи з будь-якими оптичними хвилеводами, такими як одномодове волокно (англ. Single Mode Fiber або SMF) або багатомодове волокно MMF (англ. Multi Mode Fiber або MMF)[1].

Для двоволоконних зв'язків характерні такі довжини хвиль:

850нм або 1310нм для MMF;

1310нм або 1550нм для SMF;

Робоча довжина хвилі часто залежить від дистанції, на яку потрібно передавати сигнал. Наприклад, для одномодового волокна на невеликих

відстанях зазвичай використовують довжину хвилі 1310нм, а на великих - 1550нм.

Зіставляючи максимальну швидкість і дальність, характерні для дуплексного зв'язку, з типом оптичного волокна, можна отримати залежність, що не змінюється вже протягом довгих років.

Можна відзначити, що дуплексний зв'язок можна організувати на дальність:

до 300м при швидкості передачі даних 10Гбіт / с;

до 2км при швидкості передачі даних 1Гбіт / с

1.2 WDM

В техніці мереж зв'язку відбулася революція завдяки застосуванню оптичних технологій і їх швидкому розвитку. На наступному етапі після двоволоконного зв'язку, прогрес був пов'язаний із застосування спектрального ущільнення. Ця технологія передбачає одночасну передачу по волоконному світловоду багатьох незалежних інформаційних каналів на різних оптичних несучих, дозволяючи використовувати всю оптичну смугу пропускання світловоду. Ця технологія в зарубіжній літературі отримала назву WDM.

WDM (від англ. Wavelength Division Multiplexing - мультиплексування з поділом по довжині хвилі) - окремий випадок частотного мультиплексування.

В основу принципу дії як і раніше належить твердження про те, що для двостороннього зв'язку прямий і зворотний потік повинні бути розділені фізично, але ж це твердження можна трактувати по-різному[1].

Вчені висловили думку, що фізичне розділення двох оптичних каналів зв'язку не завжди означає, що оптичні сигнали цих каналів повинні рухатися в різних волокнах - можна в одному волокні запустити назустріч один одному два «різнокольорових» світлових сигнали, які не заважатимуть один одному.

При цьому, фізичні характеристики світлових потоків, що рухаються назустріч один одному, залишаться різними (різна довжина хвилі світла), а це

означає, що світлові потоки можна розділяти та розрізняти в загальному хвилеводі.

Для повноцінної роботи такої системи (таку систему називають «одноволоконною») приймач WDM має в собі передавач і приймач, з різними довжинами хвиль, а також вбудований блок фільтрів.

Загалом, мультиплексування з розподілом оптичних частот є підрозділом оптичних частот. Оптичні канали дуже щільні. Мультиплексування з поділом по довжині хвилі (WDM) відноситься до грубого поділу оптичної частоти, оптичні канали знаходяться далеко один від одного і навіть у різних вікнах волокна.

Іншими словами, одноволоконний пристрій WDM прийому / передачі випромінює на одній довжині хвилі, а приймає на іншій. Для нормальної роботи в кожному такому приймачі WDM встановлені фільтри.

Приймачі WDM працюють парно. Кожен приймач в парі має «дзеркальні» довжини хвиль прийому і передачі, наприклад: один трансивер з пари має довжини хвиль передавача 1310 нм і 1550 нм приймача; другий трансивер з пари має такі ж довжини хвиль, проте навпаки (передавач випромінює на довжині хвилі 1550 нм, а приймач детектирує сигнал на довжині хвилі 1310 нм).

1.3 Недоліки «простих» оптичних систем зв'язку.

У класичних двохволоконних систем зв'язку і WDM систем ущільнення є свої недоліки:

неефективне використання волокна (характерно в першу чергу для двоволоконних ліній зв'язку) - фактично, для організації одного дуплексного каналу зв'язку застосовується надмірна кількість оптичних волокон, що само по собі досить дорого;

обмежений радіус дії через хроматичну дисперсію (актуально для 10G) і оптичного бюджету / бюджету втрат (актуально як для 1G, так і для 10G);

хроматична дисперсія згубно впливає на високошвидкісний 10Гбіт / с сигнал, руйнуючи його, а оптичний бюджет трансиверів неможливо збільшити без спеціального зовнішнього обладнання;

неможливо стандартними способами розширити канал зв'язку двоволоконних або WDM систем зв'язку шляхом додавання нових спектральних каналів, підвищивши тим самим ефективність використання оптичного волокна;

Частковим вирішенням проблем класичних двоволоконних систем зв'язку і WDM систем ущільнення цілком може стати (і дуже часто стає) Система ущільнення CWDM.

1.4 CWDM

CWDM (від англ. Coarse Wavelength Division Multiplexing - грубе ущільнення з мультиплексуванням по довжині хвилі) - також, як і WDM, окремий випадок частотного ущільнення.

Відмінність CWDM від WDM полягає, в першу чергу, в більшій кількості довжин хвиль (або спектральних каналів) - їх 18 в CWDM проти двох в WDM.

Довжини хвиль в CWDM зібрані більш щільно, ніж в WDM (рис.1.4) : всі 18 каналів знаходяться в спектральному діапазоні від 1270 до 1610нм з кроком 20 нм при максимальній ширині кожного каналу +/- 7.5нм (в рекомендації ITU-T G.694.2 заявлене відхилення від центральної довжини хвилі знаходиться в діапазоні $\pm 6 \dots 7$ нм). Цей спектральний діапазон охоплює всі освоєні діапазони для передачі світлових сигналів в одномодовом оптичному волокні (це - діапазони O, E, S, C і L)[2].

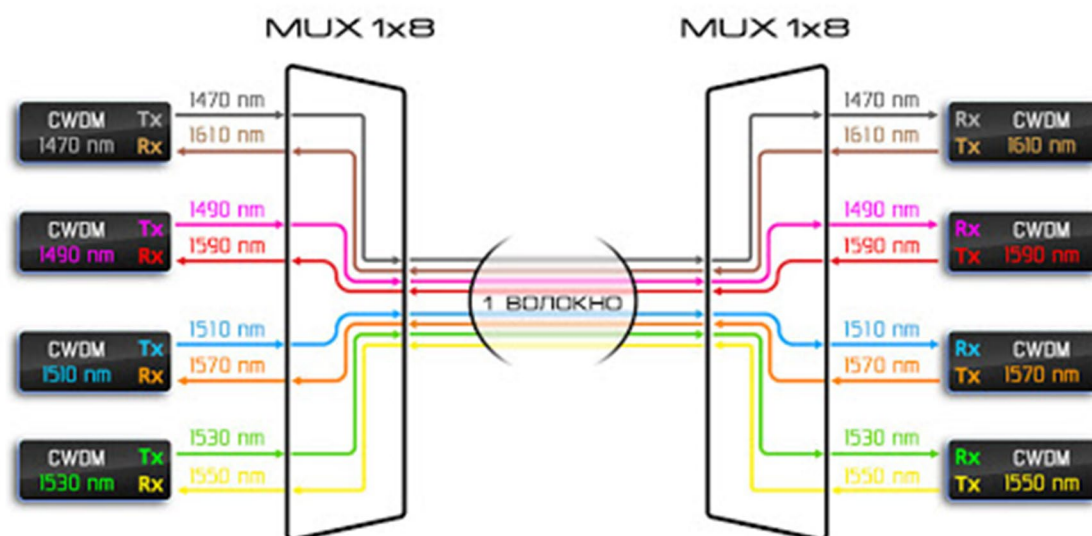


Рисунок 1.4 - Спектральні канали CWDM приймача в одному волокні

Для того, щоб ввести і вивести з одного волокна велике число довжин хвиль, просто CWDM фільтра буде недостатньо, і тоді для організації зв'язку потрібний пристрій який називається мультиплексор.

Оптичний мультиплексор - пристрій, що об'єднує оптичні канали в груповий оптичний сигнал. Оптичний демультиплексор в свою чергу розділяє груповий оптичний сигнал на спектральні складові. Іноді (останнім часом все частіше) оптичний мультиплексор виконує відразу обидві ці функції.

У середині звичайного CWDM мультиплексора знаходиться масив зварених між собою CWDM фільтрів на різні довжини хвиль (рис.1.4.1). Фільтри зварені за принципом «транзитний вихід першого є входом для другого» (іншими словами, «хвостом» COM до «хвоста» REF)[2].

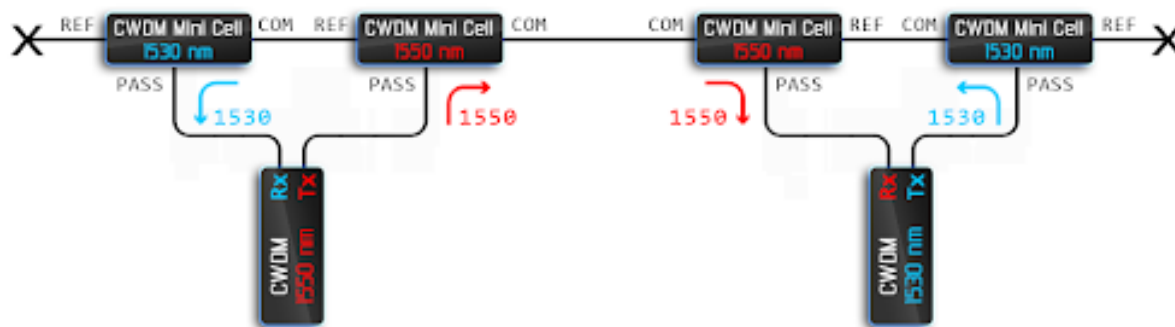


Рисунок 1.4.1 - Масив CWDM фільтрів

Вихід Pass (P) - вихід, в який вводиться (або з якого виводиться) потрібна довжина хвилі.

Вихід Common (COM або C) – загальний вихід в лінію зв'язку. Якщо потрібно ввести нову довжину хвилі в лінію зв'язку, спочатку її подають в вихід Pass. Фільтр «підмішує» нову довжину хвилі до вже наявних і груповий сигнал виходить з виходу COM.

Якщо потрібно вивести з лінії зв'язку довжину хвилі, що міститься в груповому сигналі, в вихід COM необхідно подати груповий сигнал, а на підставі виходу Pass отримати необхідну довжину хвилі.

Вихід Reflection (REF, R, іноді - EXPRESS) - «транзитний» вихід. У нього подається первинний груповий сигнал перед процедурою введення нової довжини хвилі, в нього ж виводиться залишковий груповий сигнал після процедури виведення довжини хвилі з лінії зв'язку.

Кожен фільтр «гасить» як груповий сигнал, що проходить крізь нього, так і введену / виведену довжину хвилі приблизно на 0,3дБ - це завжди необхідно враховувати при проектуванні лінії зв'язку.

Багато виробників мультиплексорів згодні виконати будь-яку примху клієнта, але і серед нестандартних мультиплексорів сформувався стійкий попит на певні пристрої, наприклад:

мультиплексорів 1x18 - для стовідсоткового використання CWDM діапазону;

«прохідні» мультиплексори - пристрої з невеликим числом каналів і EXPRESS портом (для каскадування пристроїв мультиплексування в міру необхідності);

мультиплексори з окремим виводом для подачі CATV сигналу від передавачів, випромінюючих на довжині хвилі $1310 \pm 40\text{нм}$ або на довжині хвилі $1550 \pm 20\text{нм}$ (або на $1570 \pm 20\text{нм}$ - дивлячись який передавач).

Крім усього перерахованого вище є ще один клас пристроїв мультиплексування, які продавці обладнання також дуже рідко тримають на складі – OADM.

Отже, переваги системи з грубим спектральним мультиплексуванням CWDM. Відповідно до матеріалу викладеного вище, маємо можливість виділити перелік наступних переваг[2]:

1) CWDM дає можливість передавати по одному волокну до 8 різних каналів передачі даних.

2) незалежність від клієнтських протоколів — передача до 8-ми незалежних протоколів по одному оптичному волокну;

3) відносна незалежність від електроживлення — електроенергія потрібна лише для активного обладнання.

4) відсутність ситуацій збою, перезавантажень, так як система є пасивною.

5) необов'язковість організації тривалого доступу до місць розміщення приймачів CWDM системи.

6) зниження цінності "людського чинника". Зумовлено відсутністю активних компонентів, що вимагають налаштування, управління.

7) значне зменшення ціни експлуатаційних витрат.

8) відносно невисока собівартість — питома ціна одного каналу в CWDM системі нижча, ніж в варіанті на активному обладнанні.

9) максимальна дистанція роботи CWDM системи являє собою понад 80 кілометрів.

10) можливість монтажу в різних місцях: на стіну, у стойку, у муфту.

11) прозорість для протоколів передачі даних.

1.5 DWDM

Проте розвиток не стоїть на місці і останнім часом набирає популярності технологія DWDM.

DWDM є логічним продовженням грубого ущільнення - принцип роботи той же самий: в каналі присутній одночасно до кількох десятків лазерних сигналів, кожен з яких має свою, відмінну від іншої довжини хвилі. Велика щільність каналів диктує збільшення модулів щільного оптичного ущільнення - «крок» несучих довжин хвиль в цій технології становить уже всього 0,79-0,80 нанометрів (1528,77, 1529,55, 1530,33 ... 1563,05, 1563,86). Допуски ж складають всього 0,1 нанометра - це призводить до ще більшого ускладнення технології виготовлення і більш суворого підходу до перевірки.

DWDM дозволяє організовувати до 24 дуплексних каналів (а деякі системи ущільнення що виготовляються на замовлення і до 80 каналів) в одному оптичному волокні. У порівнянні з 9 каналами CWDM - це суттєва перевага.

Взагалі у DWDM технології чимало переваг, ось деякі із них[4]:

- DWDM використовує охолоджуючий лазер, який приймає регулювання температури, що забезпечує кращу продуктивність, більш високу безпеку та триваліший термін служби системи;
- ціна DWDM трансивера дешевша за інші;
- DWDM здатний досягти більшої відстані ніж 160 км;
- DWDM може містити 40, 80 або до 160 хвиль з більш вузьким інтервалом 0,8 / 0,4 нм (мережа 100 ГГц / 50 ГГц). Його довжини хвиль від 1525 нм до 1565 нм (діапазон C) і 1570 нм до 1610 нм (діапазон L).

Таблиця 1.5 Порівняння CWDM і DWDM технологій

Переваги CWDM	Переваги DWDM	Недоліки CWDM	Недоліки DWDM
Зменшення енергоспоживання	Доступна система максимальної потужності	Менша потужність, ніж DWDM	Потрібно більше місця
Менші вимоги до простору	Максимальна відстань з EDFA	Менший діапазон	Потрібно більше енергії
Можна використовувати волокна SMF або кабель MMF	Репетирні «підсилювальні» сайти можуть бути зменшені	Регенерація проти ампліфікації	Потрібні високоточні лазери і хвильові фільтри
Можна використовувати світлодіоди або лазери для живлення	Оплачують при розширенні	Функції O, A і M не є класом несучих	Дорогі EDFA для підсилювачів
Великі індивідуальні корисні навантаження на канал	Розроблені зрілі системи O, A і M		Витрати на запуск більше, ніж еквівалентна система CWDM
Менші та більш дешеві хвильові фільтри			
Економія витрат при запуску та розширенні			

Проте ці технології частково об'єднує тема моєї роботи це OADM або оптичний мультиплексор введення/виведення.

2.1 ОПТИЧНИЙ МУЛЬТИПЛЕКСОР ВВЕДЕННЯ/ВИВЕДЕННЯ

OADM (англ. Optical Add-Drop Multiplexer) - оптичний мультиплексор вводу / виводу. Використовується цей пристрій в разі, коли де-небудь на шляху з пункту А в пункт Б з магістрального волокна необхідно вивести (або в магістральний волокно ввести) один або кілька дуплексних каналів зв'язку.

У самому простому випадку OADM - це той же «прохідний» мультиплексор з парою CWDM фільтрів всередині. Більш складніші пристрої здатні працювати одночасно на два напрямки, виводячи одні дуплексні канали зв'язку з одного боку, і вводячи інші з іншого (іноді на тих же самих довжинах хвиль).

Основні властивості OADM в CWDM:

- 1) введення/виведення одного CWDM каналу;
- 2) пасивний елемент;
- 3) низькі внесені втрати для транзитних CWDM каналів;
- 4) виділена довжина хвилі кінцевому користувачу.

OADM в заводському виконанні представляє собою невелику пластикову коробку з магістральними і «абонентськими» виходами.

«Коробкове» рішення дуже зручно в експлуатації, нічого не треба варити, нічого не треба тестувати - головне дотримуватися напрямок оптичних сигналів для коректної роботи. Крім того, коробкове рішення має малі внутрішні втрати за рахунок заводської збірки.

Недоліки готових OADM починають проявлятися вже на етапі їх покупки - дуже складно знайти пристрій, здатний задовольнити кінцевого провайдера, особливо якщо його інженери використовують нестандартні пари довжин хвиль для дуплексів або вводять / виводять не один дуплекс, а два або більше.

Крім того, коробкове рішення незручне при зміні топології або логічної схемотехніки мережі (їх неможливо розібрати і витягти або додати до них оптичні канали).

Тому багато постачальників CWDM обладнання взяли за практику не поставляти «коробкові» рішення, а покласти проектування і виготовлення OADM будь-якого формату на плечі провайдера[5,6].

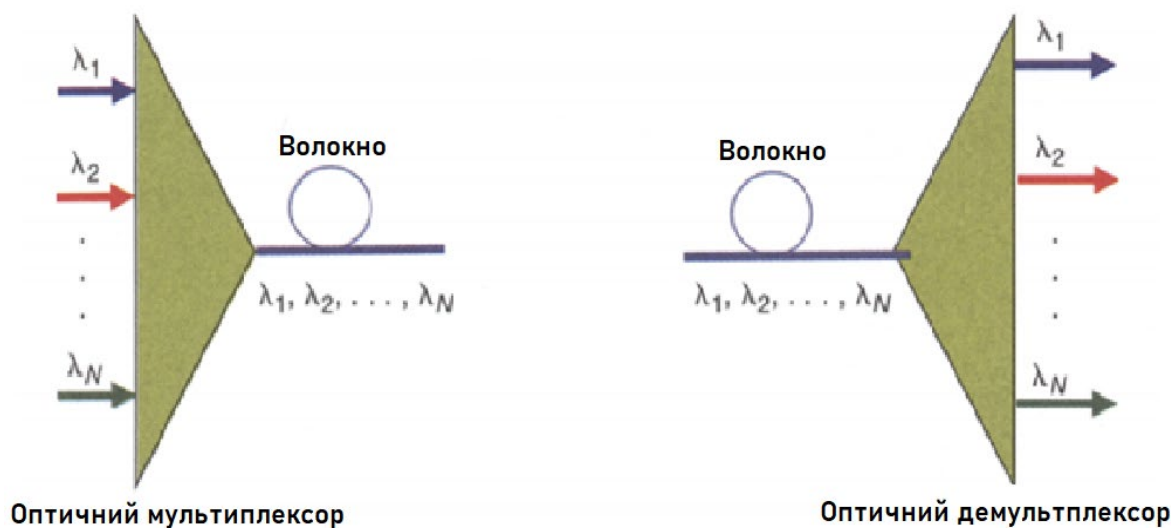


Рисунок 2.1 - Компоненти традиційного OADM

2.1.1 Основні функції OADM

Як випливає з назви, OADM може додавати один або більше нових каналів довжини хвилі до існуючого багатохвильового сигналу технологій WDM або вводити/ виводити один або кілька каналів, передаючи ці сигнали на інший мережевий шлях. OADM зазвичай використовується в кільцевих системах WDM і на великих відстанях для більш гнучкої конфігурації та більшої пропускної здатності.

Кращий огляд функції OADM показаний на малюнку 2.1.1. Ця функція особливо використовується в кільцевих системах WDM, а також у довгих магістралях із функціями додавання. Можлива структура функції оптичного додавання за допомогою оптичного перемикача 2 x 2 проілюстрована (для однієї довжини хвилі) на рисунках 2.1.2 та 2.1.3. Між демультиплексором та

мультиплексором може бути додано більше оптичних перемикачів для підтримки більшої довжини хвилі додавання[5].

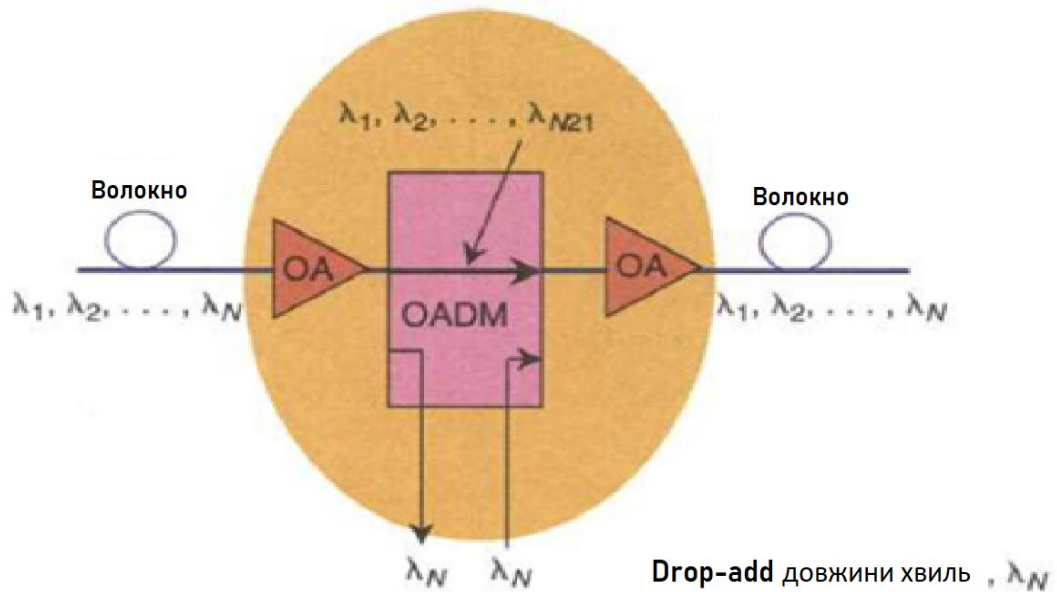


Рисунок 2.1.1 - Функція OADM

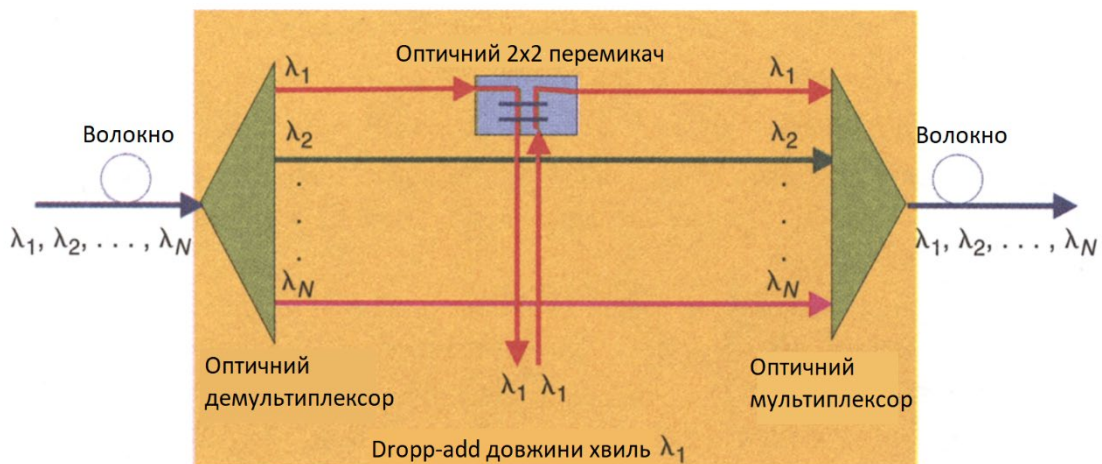


Рисунок 2.1.2 - Основна функція OADM полягає у вибіркового видаленні довжини хвилі та додаванні тієї ж хвилі у волокні

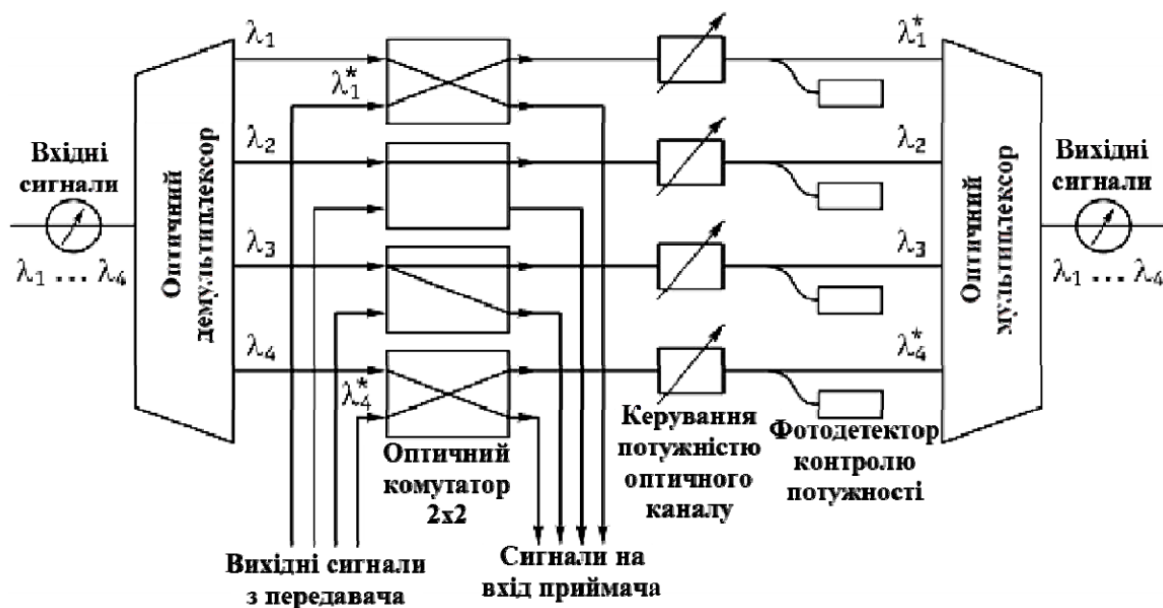


Рисунок 2.1.3 - Узагальнена схема оптичного мультиплексора OADM

2.1.2 Дослідження технічних характеристик

Використаю таблицю яка чудово показує технічні характеристики OADM мультиплектора.

Таблица 2.1.2 Технические характеристики OADM

Діапазон довжин хвиль (нм)	1260-1620
Робоча довжина хвиль (нм)	1270, ..., 1610
Центральна довжина хвилі (нм)	± 0.5
Рознос каналів (нм)	20 x (1, 2, 3, ..., 16, 17)
Пропускна спроможність (нм)	1310 $\pm$ 50, Others>13
Add/Drop Пульсація каналу (дБ)	< 0.3 – 0.5

2.1.2

Температурний здвиг довжини хвилі (нм/ °C)	< 0.002-0.005
Поляризаційні втрати (дБ)	< 0.10
Поляризаційна модова дисперсія (дБ)	< 0.1
Направленість (дБ)	>50
Поворотні втрати(дБ)	>45
Максимальна потужність (мВт)	300
Робоча температура(°C)	-5~+65
Температура зберігання (°C)	-40~+85
Волога навколишнього середовища (%)	≤93

2.1.3 Ринок OADM

Очікується, що глобальний ринок OADM зростатиме значними темпами протягом періоду, між 2021 і 2027 рр. У 2021 р. Ринок ріс стабільними темпами та із зростанням прийняття стратегій ключовими гравцями , очікується зростання ринку за прогнозованим горизонтом. Пандемія Covid-19 вплинула і на глобальний ринок OADM. Проте в 2021 році ринкова ситуація пішла на зріст.[6]

Провідні ключові гравці на ринку оптичних мультиплексорів вводу-виводу (OADM):

Patton, PacketLight Networks, Fiberroad Technology, Omnitron Systems Technology, CTC Union Technologies, Optoplex, Orion Telecom, Lumentum Operations, F-TONE GROUP, Agilecom Photonics Solutions Guangdong

Індустрія оптичних мультиплексорів вводу-виводу (OADM) є жорстко конкурентною і фрагментованою через існування різних відомих гравців, які беруть участь в різних маркетингових стратегіях з метою збільшення своєї частки ринку. Виробники, що працюють на ринку, класифікуються за ціною,

якістю, бренду, диференціації продуктів і портфелю продуктів. Постачальники все більше зосереджують свою увагу на налаштування продукту за допомогою взаємодії з клієнтами.

Таблиця 2.1.3 Порівняння цін продукції різних виробників OADM

Виробник	Країна	Класифікація пристроїв	Довжини хвиль, нм	Мінімальна ціна, грн	Максимальна ціна, грн	Середня ціна, грн
Opticlin	Росія	Модуль CWDM add/drop	1310	6000	7500	6750
		Модуль CWDM add/drop	1430	6000	7500	6750
		Модуль CWDM add/drop	1570	6200	8000	7100
		Модуль CWDM add/drop	1610	6200	8000	7100
		Фільтр CWDM add/drop	1270-1610	450	550	500
Alistar	Китай	Фільтр CWDM add/drop	1270-1610	320	500	410
		Фільтр DWDM add/drop	1270-1610	850	1000	925
FOCC Technology	Китай	Модуль CWDM OADM	1260-1650	4500	5500	5000
Wuhan Seifree	Китай	Мультіплексор OADM	1540	420	700	560
		Оптичне волокно OADMx8	1270-1550	480	540	510
Shenzhen Shijia	Китай	OADM Mux 4 канали	1260-1620	550	700	625
A-Gear	Україна	Мультіплексор CWDM add/drop	1470-1610	2800	3500	3150

З проведеного аналізу можна дійти висновку що ціни варіюються залежно від:

- 1) країни виробника;
- 2) кількості спектральних каналів;
- 3) технології CWDM чи DWDM;
- 4) робочого діапазону приладу;
- 5) наявності чи відсутності корпусу та стійки;

6) технології виробництва

2.1.4 Структура OADM

Електронний мультиплексор виконує функції введення / виведення трибов (SDH, PDH, SONET), компонентних сигналів і потоків.

Оптичний демультимплексор:

- виділяє транзитний потік з кількох несучих і передає його безпосередньо на оптичний мультиплексор;
- виділяє оптичні несучі (зазвичай по одній з кожного волокна) для передачі зарезервувавши їх користувачам, маючим оптичні інтерфейси до оптоволоконних каналів;
- виділяє оптичні несучі і передає їх на електронний мультиплексор для оптоелектронного перетворення і електронного демультимплексування каналів (трибов або компонентних сигналів), зарезервованих користувачами;

Оптичний мультиплексор формує вихідний потік, об'єднуючи транзитний потік від демультимплексору (оптичні несучі) з оптичними потоками від електронного демультимплексору і з прямими оптичними каналами від користувачів.

На рис. 2.1.4 показаний OADM, що приймає вісім несучих, з яких чотири передаються транзитним потоком з входу на вихід, дві виводяться через оптичні інтерфейси користувачам, а дві інші перетворюються в електричні, демультимплексуються до трибов потрібного рівня за допомогою ADM і виводяться через його електричні інтерфейси користувачам. Аналогічно формується і мультиплексований потік[7].

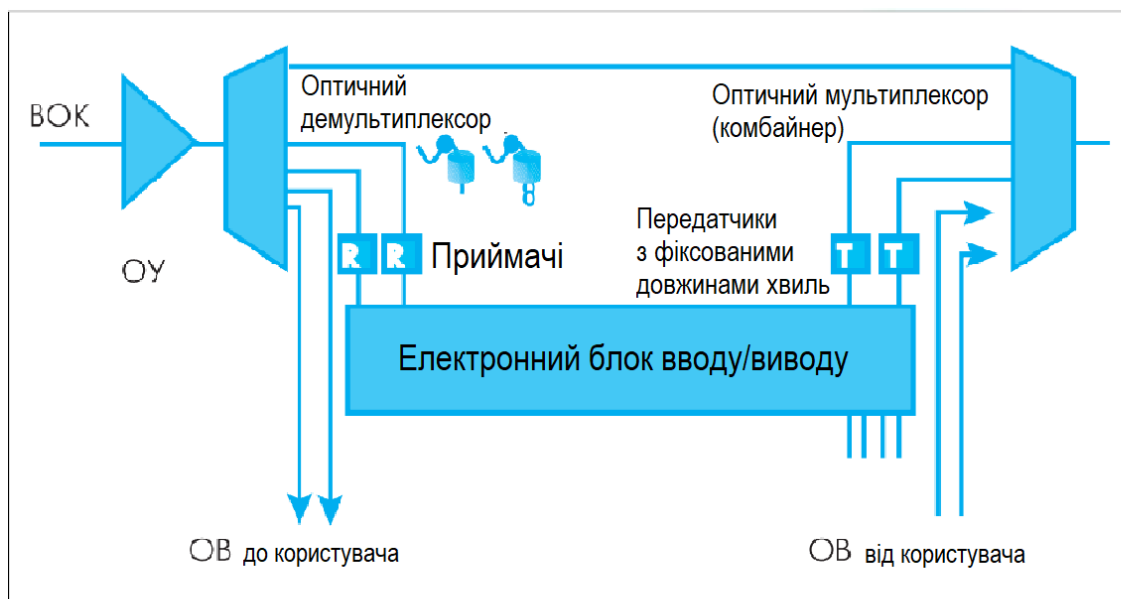


Рисунок 2.1.4 - Оптический мультиплексор ввода/вывода первого поколения

Однак у сучасних мультиплексорів (першого покоління) є ряд недоліків. Так, число оптичних несучих, яке можна ввести/вивести в OADM, обмежена через складності пристроїв оптичного введення/виведення. В роботі показано, що число таких несучих становить для різних систем від 1/10 до 1/4 від загального числа оптичних каналів (введених / виведених і транзитних).

Причини цього в основному економічні: для виведення оптичних несучих використовуються модулі оптичних фільтрів, для введення - пасивні WDM модулі, вартість яких 1000-2000 дол. за несучу. Можливість реконфігурації несучих практично подвоює цю ціну.

Оскільки модулі оптичних фільтрів реалізовані апаратно, вони не перебудовуються. Через це оптичні відгалужувачі працюють на фіксованих частотах, і їх не можна динамічно реконфігурувати. В більшості випадків OADM не можуть конвертувати довжини хвиль вхідних несучих. А проблеми з фільтрацією оптичних несучих обмежують швидкість обміну в системах WDM на рівні STM 16 (2,5 Гбіт / с).

Перераховані недоліки поступово долаються, в першу чергу завдяки можливості конвертації довжин хвиль вхідних несучих. Оптичні конвертори і перетворювачі лазерних джерел дозволяють реконфігурувати оптичні канали.

Але найскладніше виявилось створити оптичний крос-комутатор, який зробив би OADM таким же гнучким і повнофункціональним, як і ADM. Однак припустивши, що названі недоліки подолані, можна уявити структурну схему оптичного мультиплексора другого покоління (рис. 2.1.5). Вона відрізняється не тільки збільшеним числом мультиплексованих каналів (128-256 проти 8-32) і більш високими швидкостями передачі (10-40 Гбіт / с). У складі нового мультиплексора - повнорозмірний неблокований оптичний крос-комутатор і керований блок хвильових конверторів[7].

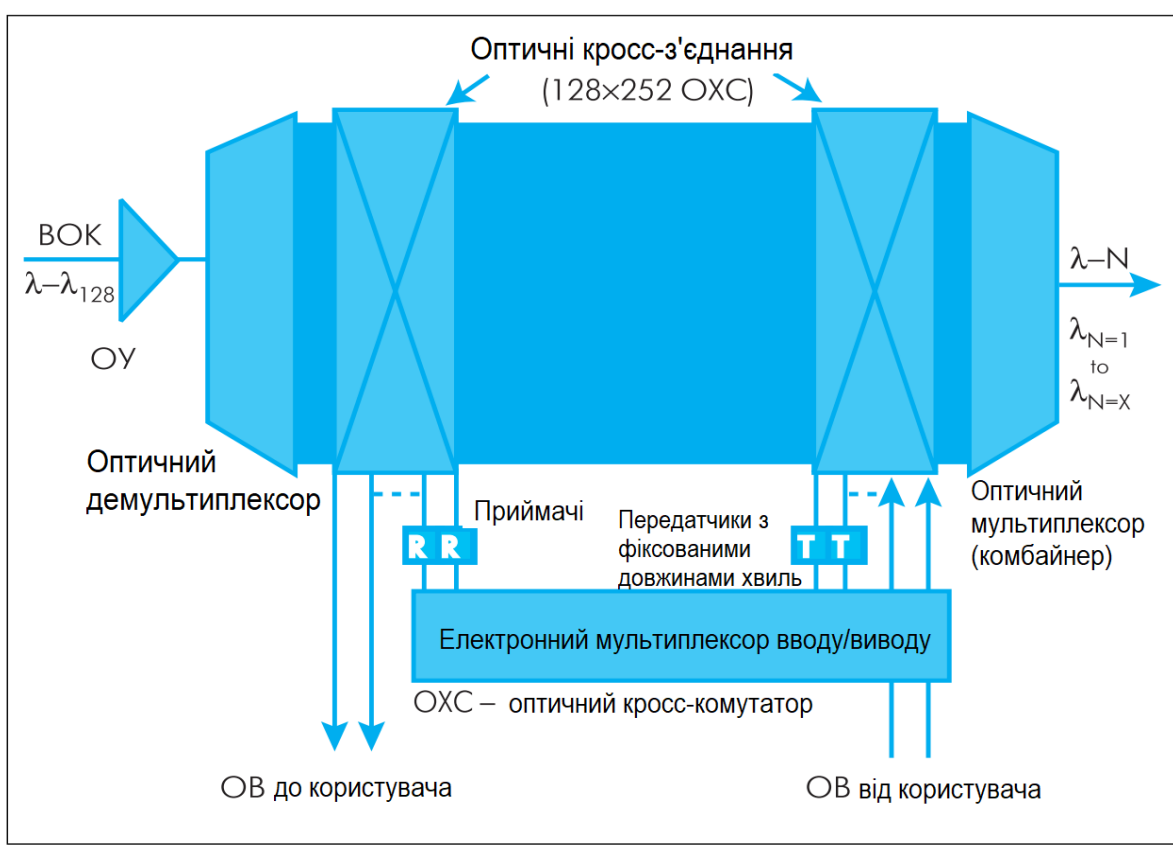


Рисунок 2.1.5 - Оптичний мультиплексор вводу/виводу другого покоління

Ці пристрої дозволять ввести/вивести скільки завгодно довжин хвиль, а при необхідності - їх динамічно реконфігурувати і перемаршрутизувати. Такий мультиплексор не тільки дозволить покращити ємність систем передачі до терабітного рівня, а й зробить реальними повністю оптичні мережі - кінцеву мету розвитку оптоволоконних мереж.

2.2 Оптичні технології введення/виведення несучих

Динамічна реконфігурація систем оптичного ущільнення, тобто дистанційна зміна числа спектральних каналів, - важливий засіб оптимізації продуктивності мережі, яка надає їй операційної гнучкості. В її основі лежать оптичні технології введення/виведення несучих з поділом по оптичному спектру в проміжних вузлах мережі. Сьогодні принаймні п'ять технологій реалізують введення/виведення оптичних несучих[7]:

- фільтри на основі оптоволоконних дифракційних решітках Брегга;
- фільтри на основі інтерферометра Фабрі-Перо;
- інтерференційні фільтри на тонких плівках;
- поляризаційні фільтри на рідких кристалах;
- акустооптичні перебудовувані фільтри.

Однак до цих фільтрів є деякі умови. Так, вони повинні мати невеликі втрати, щоб не використовувати оптичні підсилювальні компенсатори. Втрати фільтра не мають залежати від поляризації вхідного сигналу, щоб при їх зміненні не змінювалася вихідна потужність. Смуга пропуску фільтра має бути температурно незалежною. Амплітудно хвильова характеристика (АХХ) фільтра повинна бути максимально прозорою в робочому проміжку довжин хвиль, з великою крутизною спаду в перехідній смузі, щоб допускати каскадування фільтрів в системах WDM без втрати площинності і мінімізувати вплив загасання сусідніх каналів.

2.2.1 Фільтри на основі оптоволоконних дифракційних решітках Брегга

Широкого застосування в системах WDM в ролі фільтрів і елементів введення-виведення волокна отримали волоконні решітки Брегга (рис.2.2.1).

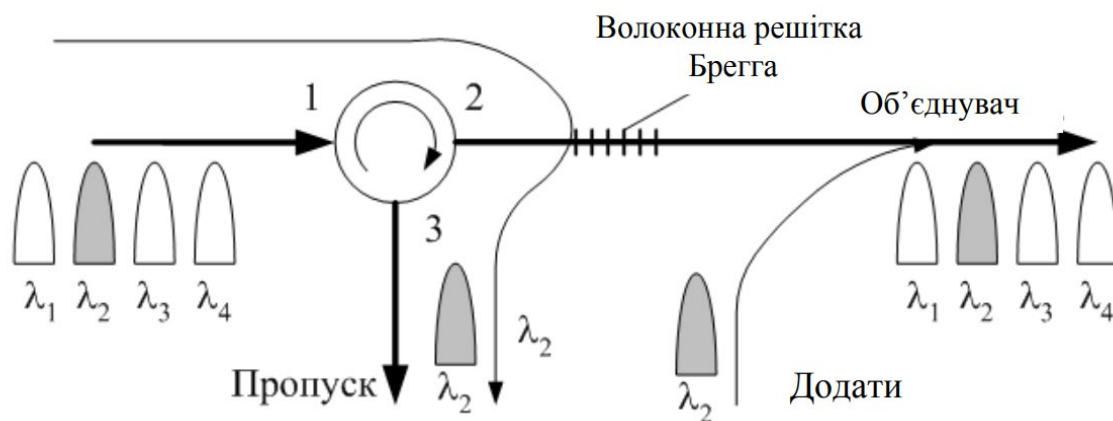


Рисунок 2.2.1 - Оптичні елементи введення/виведення на брегівських решітках

Модуль введення/виведення на основі фільтра на решітці Брегга складається з двох циркуляторів з оптоволоконною решіткою Брегга між ними. Вхідний циркулятор грає роль фільтра виводу несучої, а вихідний працює як мультиплексор вводу несучої. В принципі він може бути замінений приладом мультиплексора WDM з двома входами на основі стандартного розгалуджувача.

На малюнку, що вище показана схема модуля для введення виведення чотирьох несучих на основі решіток Брегга з циркулятором і перехідником для виведення хвиль і об'єднувача з перехідником на два входи для введення хвиль.

Недолік цього типу фільтрів - в тому, що решітка Брегга розраховується на певну довжину хвилі і не може переналаштовуватися[8].

2.2.2 Фільтри на основі інтерферометра Фабрі-Перо

Основний елемент фільтра - резонатор Фабрі Перо. Зазвичай фільтр являє собою шар діелектрика (буферний шар) з нанесеними на нього з обох боків багатошаровими діелектричними дзеркалами. [9]

Нехай відстань між дзеркалами одно L і вхідний промінь падає нормально до площини лівого дзеркала (рис.2.2.2), потрапляє всередину порожнини

резонатора, частково проходить через праве дзеркало, а частично відбивається від нього. Відбитий промінь знову відбивається від лівого дзеркала, і процес багаторазово повторюється. Якщо L кратне $\lambda / 2$, то всі промені, що проходять через праве дзеркало, скільки разів би вони не відбивалися, виявляються в фазі. Такі довжини хвиль λ називаються резонансними.

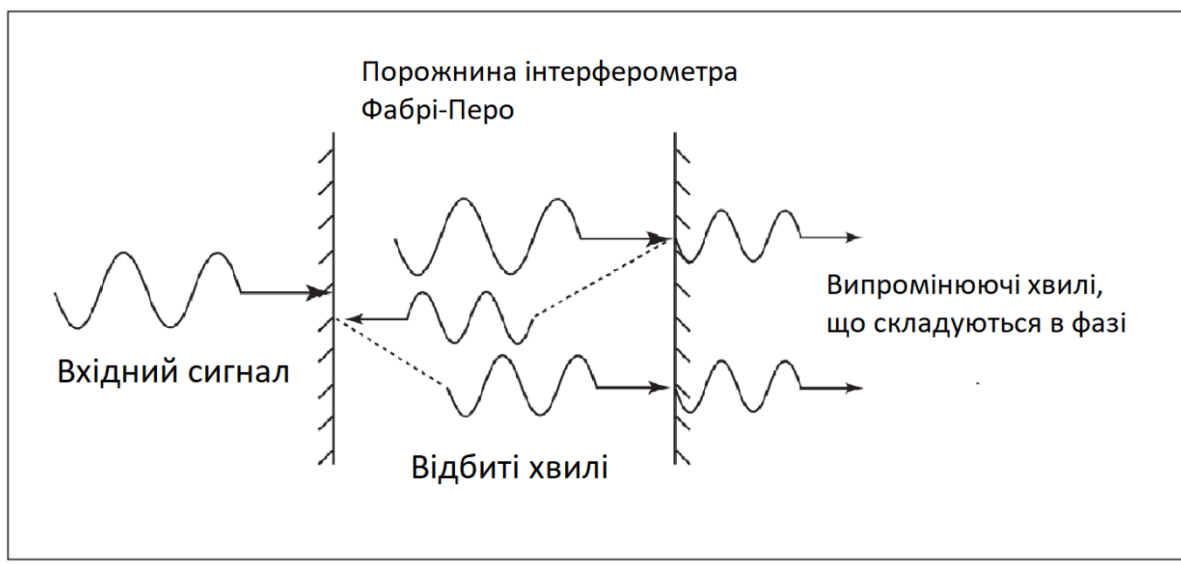


Рисунок 2.2.2 - Фільтрація світла резонатором Фабрі-Перо

Важлива особливість фільтрів Фабрі-Перо - можливість їх перебудови, а значить і реконфігурації мультиплексора введення/виведення на їх основі. Для перебудови фільтра досить змінити $\tau = n \cdot L / c$, що еквівалентно зміні n - коефіцієнта заломлення середовища між дзеркалами, або L . Механічна зміна відстані L - досить складна операція, вона може порушити паралельність дзеркал. Тому зазвичай дзеркала закріплюють до п'єзоелектрику і переміщують відстань, прикладаючи до нього напругу.

Але і це рішення складне. Крім того, самі фільтри Фабрі-Перо не знайшли вигідного застосування в системах WDM, поступивши місце іншим рішенням. Одне з таких - інтерференційні фільтри на тонких плівках.

2.2.3 Інтерференційні фільтри на тонких плівках

Ці фільтри, які використовують в нинішніх системах з WDM так само часто, як і фільтри з решіткою Брегга. У них роль дзеркал, що обмежують резонаторну порожнину, відіграють тонкі діелектричні плівки багаторазового відбиття.

Тонкоплівкові фільтри діляться на два типи на тонкоплівкові з однією резонаторною порожниною (TFF) і з багатьма резонаторними порожнинами (TFMF). На рис. 2.2.3 наведена схема трьохрезонаторного фільтра, порожнини якого розділені відбиваючими шарами тонких плівок (довжиною $\lambda / 4$) з чергуванням шарів з високими (H) і низькими (L) змістами показника заломлення. Цю структуру утворюють, послідовно вирощуючи діелектричні відбиваючі і пропускні шари на підкладці зі скла (G).

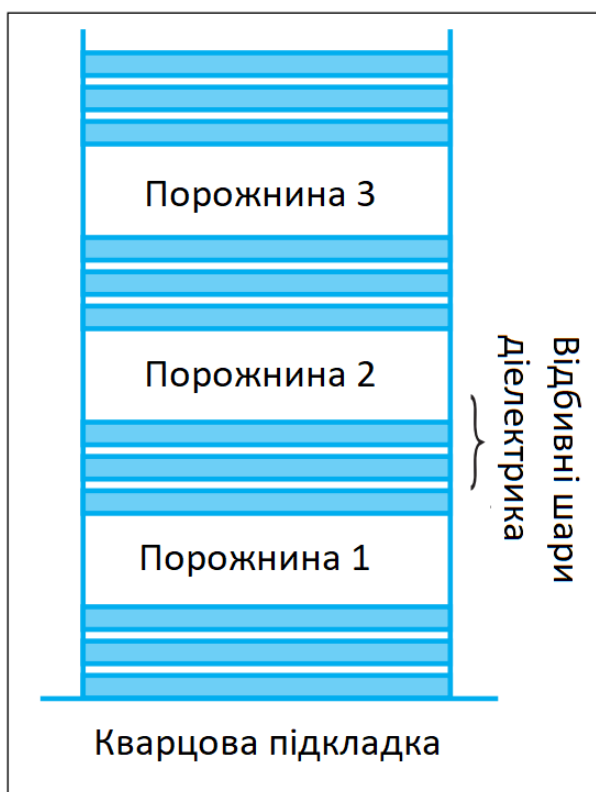


Рисунок 2.2.3 - Структура тонкоплівкового фільтра з трьома резонаторними порожнинами

На відміну від фільтрів Фабрі-Перо, фільтри на тонких плівках пропускають тільки одну хвилю, довжина якої залежна від ширини порожнини. Недолік даного типу фільтрів в тому, що вони розраховані на певну довжину хвилі і не можуть перебудовуватися[7].

2.2.4 Поляризаційні фільтри на рідких кристалах

В основі фільтрів - особливість рідких кристалів (РК) обертати площину поляризації під дією ел. поля. Ця технологія виглядає багатообіцяючою в плані керованої реконфігурації, проте ця технологія ще не вдосконалена.

Фільтр на рідких кристалах можемо представити у вигляді трьохелементної збірки (Рис. 2.2.4). РК плівка, що повертає площину поляризації світла певної довжини хвилі на 90° , поміщається між поляризатором, лінійно поляризуючим світло, і аналізатором, що пропускає тільки лінійно поляризоване світло з площиною поляризації, що формується поляризатором.

У нормальному стані РК плівка повертає площину поляризації на 90° і фільтр блокує певний діапазон хвиль - збірка працює як оптичний ізолятор.

При прикладанні до кристалу якоїсь напруги, площина поляризації обертається ще на 90° і збігається з площиною аналізатора. Світло заданих довжин хвиль проходить на вихід.

Недоліком є те, що фільтр на РК може працювати тільки з однією довжиною хвилі, яка повинна бути попередньо виділена з набору несущих, оброблюваного мультиплексором.

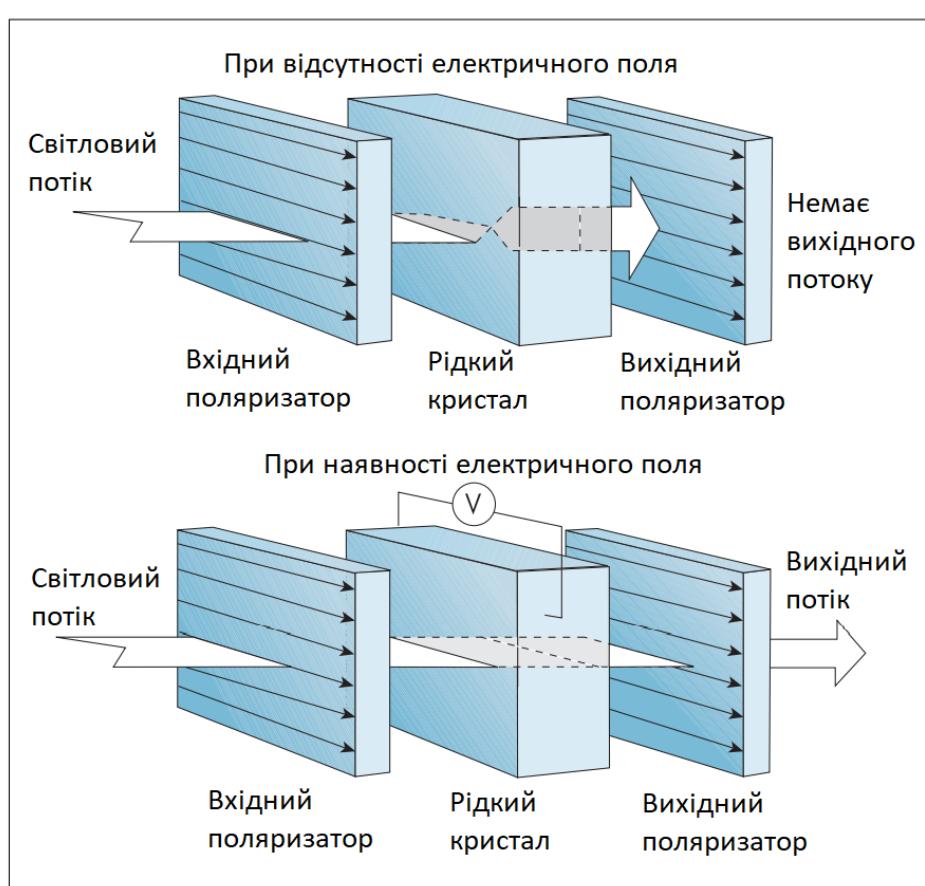


Рисунок 2.2.4 - Поляризаційний фільтр на рідких кристалах

2.2.5 Акустооптичні перебудовувані фільтри

Ще розглядаючи технології, які базуються на обертанні площини поляризації, дуже перспективною є акустооптична технологія. Акустооптичний фільтр - це напівпровідниковий кристал ніобата літію, з титановими хвилеводами в ньому. На кристалі знаходиться п'єзoeлектричний вібратор звукових хвиль, що керується генератором 170 – 180 МГц. Вібратор створює поверхневу акустичну хвилю (ПАХ), яка розходить під кутом до основного оптичного потоку. Зліва та справа від нього поляризаційні розщеплювачі оптичного потоку.

Вхідний розщеплювач розділює вхідний потік на моди ТЕ (знизу) та ТМ (вгорі), які проходять через АХ. Поверхнева акустична хвиля цього хвилеводу викликає у ньому гармонічну зміну показника заломлення (виникнення акустичної ґратки Брегга), утворюючи умови для дифракції Брегга або

повертання на 90° площини поляризації однієї з хвиль, яка фільтрується другим розділювачем на виході як несуча, що виводиться з мультиплексора(рис.2.2.5).

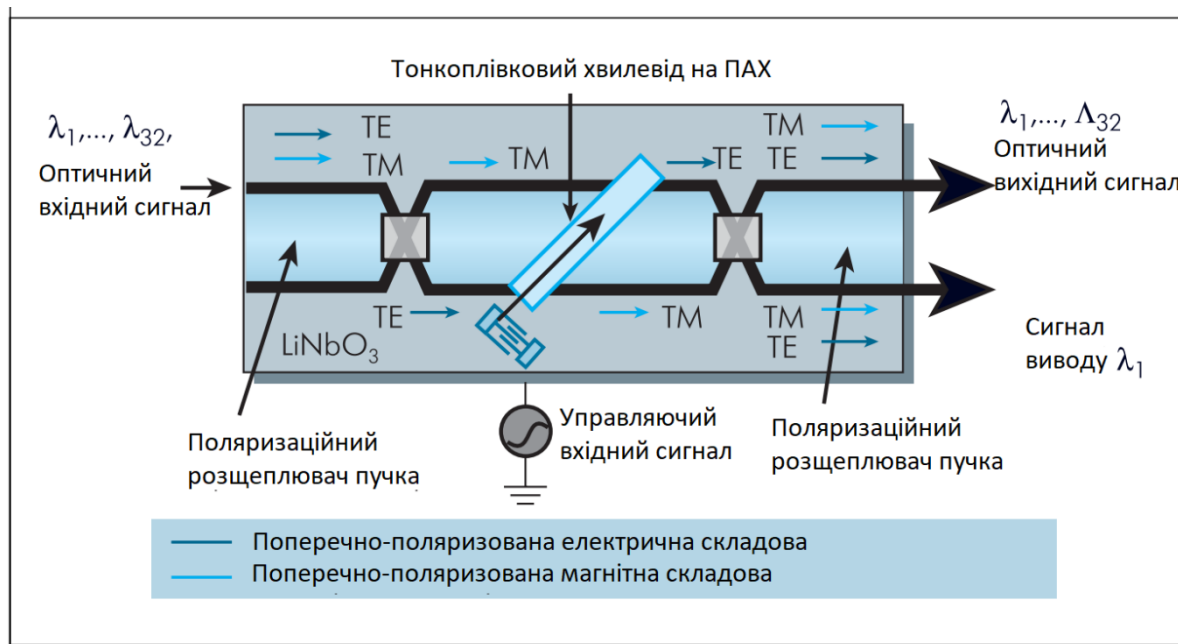


Рисунок 2.2.5 - Акустооптичний фільтр

Перевагою фільтра є те, що він дозволяє змінювати довжину хвилі фільтрації шляхом зміни частоти керуючого генератора, що збуджує ПАХ. Фільтр можна переналаштувати на виведення однієї несучої або усіх несучих. Крім того, у фільтрів даного виду низький рівень втрат, що привносяться, та низька потребує потужність та широка смуга перекриття при перестроюванні. Робота таких фільтрів не залежна від швидкості передачі даних. Температурну нестабільність компенсують спеціальні стабілізатори.

2.3 Різновиди OADM

Як правило, OADM можна розділити на два типи: FOADM (фіксований оптичний мультиплексор введення/виведення) і ROADM (реконфігурований оптичний мультиплексор введення/виведення).

2.3.1 FOADM

FOADM - це традиційна схема розташування довжин хвиль, яка може вводити або виводити лише одну довжину хвилі через фіксований порт. FOADM використовується для додавання або скидання певного набору довжин хвиль, призначених для певних каналів DWDM. Це дозволяє виробнику налаштовувати кількість каналів, специфікації фільтрів та вирівнювання потужності, але вимагає надмірного транспортування кожного вузла. Крім того, в системах FOADM потрібні ручні налаштування, оскільки канали додаються або скидаються. Також необхідні оптико-електричні та електрично-оптичні зміни. Зазвичай FOADM виготовляється з тонкоплівкових фільтрів (TFFS) з волоконної решітки Брегга (FBG) та інтегрованих площинних хвилеводних решіток (AWG). Експлуатаційні витрати для FOADM високі через стаціонарний характер механізмів та вимогу до ручних змін[10].

2.3.2 ROADM

ROADM - це схема динамічного розташування довжини хвилі, яка дозволяє скласти схему динамічного розміщення хвилі. Він використовує селективний перемикач довжини хвилі (WSS). WSS має 8-мірне перехресне з'єднання та забезпечує швидкий запуск служби, віддалене перехресне з'єднання мережі WDM. Схема ROADM також дозволяє вводити або виводити одну довжину хвилі або групу довжин хвиль через фіксований порт (рис.2.3.2). У системах ROADM нам не потрібно перетворювати оптичні сигнали в електричні

сигнали і направляти ці сигнали за допомогою звичайних електронних перемикачів, а потім знову перетворювати назад в оптичні сигнали, як це робить FOADM. ROADM може налаштовуватися за потреби, не впливаючи на трафік. Він також використовується для віддаленої конфігурації або реконфігурації через систему управління мережею (NMS).

Цей тип OADM дуже гнучкий у перенаправленні оптичних потоків, обходячи несправні з'єднання, дозволяючи прибрати мінімальні збої в роботі служби та можливість адаптувати або модернізувати оптичну мережу до різних технологій WDM[10].

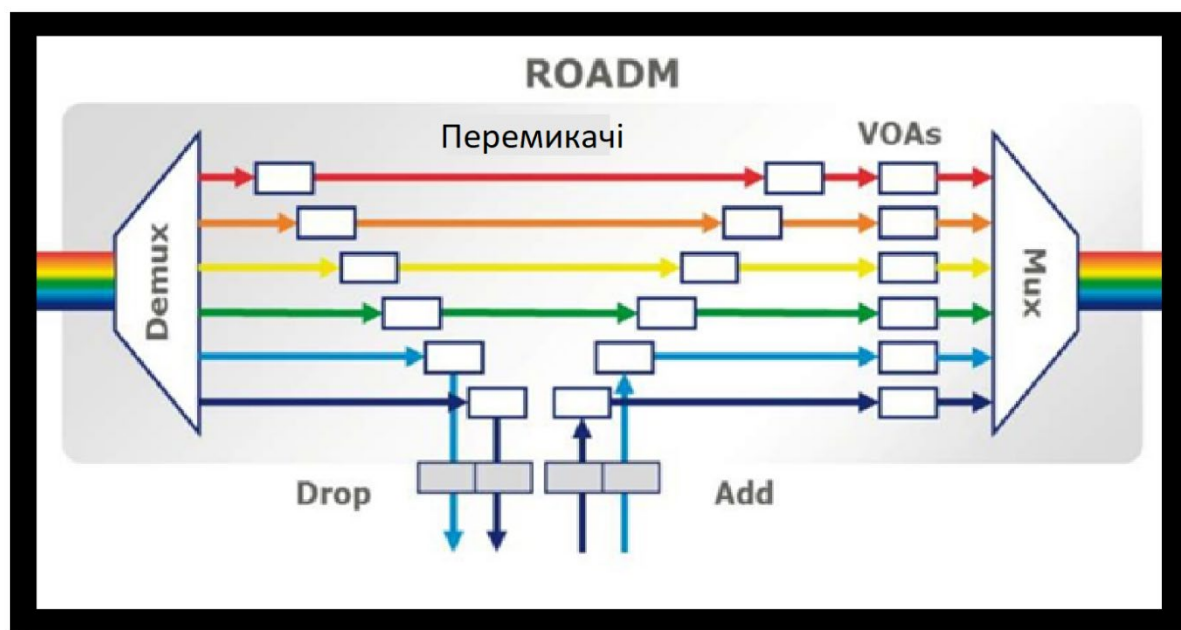


Рисунок 2.3.2 - Схема функціонування ROADM

2.3.3 Порівняння FOADM і ROADM

FOADM засновані на простих статичних волокнах, які дозволяють додавати / виводити заздалегідь визначені довжини хвиль. Ці системи повністю інтегровані та керовані та забезпечують чудовий баланс вартості характеристик. ROADM додають можливість віддаленого перемикання трафіку з системи

WDM на рівні довжини хвилі. Незважаючи на те, що FOADMS дорожчі ніж ROADM, вони використовуються в програмах, де моделі не повністю відомі або часто змінюються.

3.1 ВПРОВАДЖЕННЯ OADM В ОПТО-ВОЛОКОННУ МЕРЕЖУ

Грунтуючись на одній і тій же концепції використання декількох довжин хвиль світла на одному волокні, CWDM і DWDM є двома важливими технологіями волоконно-оптичного зв'язку. Як ми вже знаємо, відстань передачі мережі CWDM є меншою, ніж у DWDM. Проте це коштує дешевше і має можливість збільшувати пропускну здатність волокна за необхідності. Загальні компоненти, що використовуються в мережах CWDM:

3.1.1 CWDM Mux / Demux

CWDM Mux / Demux, який базується на технології плівкового фільтра, є основним компонентом мереж CWDM. Він може поєднувати до 4, 8 або 16 різних сигналів довжини хвилі від різних подовжувачів волокон до одного оптичного волокна, або може розділяти однакові довжини хвиль, що надходять від одного джерела CWDM. Ось чому CWDM може розширити існуючу пропускну здатність волокна.

3.1.2 Оптичний приймач CWDM

Оптичний трансивер є необхідним елементом в оптичних мережах. А оптичний приймач CWDM - це тип модуля, що підтримує мережеві програми CWDM з довжинами хвиль CWDM. При підключенні до CWDM Mux / Demux трансивер CWDM може збільшити пропускну здатність мережі, дозволяючи різним каналам даних використовувати окремі довжини оптичних хвиль (від

1270 нм до 1610 нм) на одному волокні. І загальним типом приймача CWDM є SFP, SFP +, XFP, XENPAK, X2 тощо.

3.1.3 CWDM OADM

OADM може додавати нові точки доступу в будь-якому місці систем CWDM, не впливаючи на інші канали, що обходять мережу. Завдяки цій можливості OADM точки доступу можуть бути додані до лінійних, шинних та кільцевих мереж, де конструкція кільцевого здвоєного напрямку забезпечує надлишкову захищену архітектуру.

3.2 Приклади впровадження CWDM з OADM

3.2.1 Перший приклад

Опис: є п'ять будівель (шериф. Будинок суду. Адміністратор, поліція, пожежа та громадські роботи), пов'язані між собою багатомодовими волоконними кабелями (MMF) або одномодовими волоконними кабелями (SMF). Ці будівлі пов'язані між собою за допомогою багатомодових SFP в існуючих комутаторах D-link, щоб створити одну мережу для внутрішнього використання міських офісів. Нижче наведено простий графік (рис.3.2.1), який показує ситуацію[11].

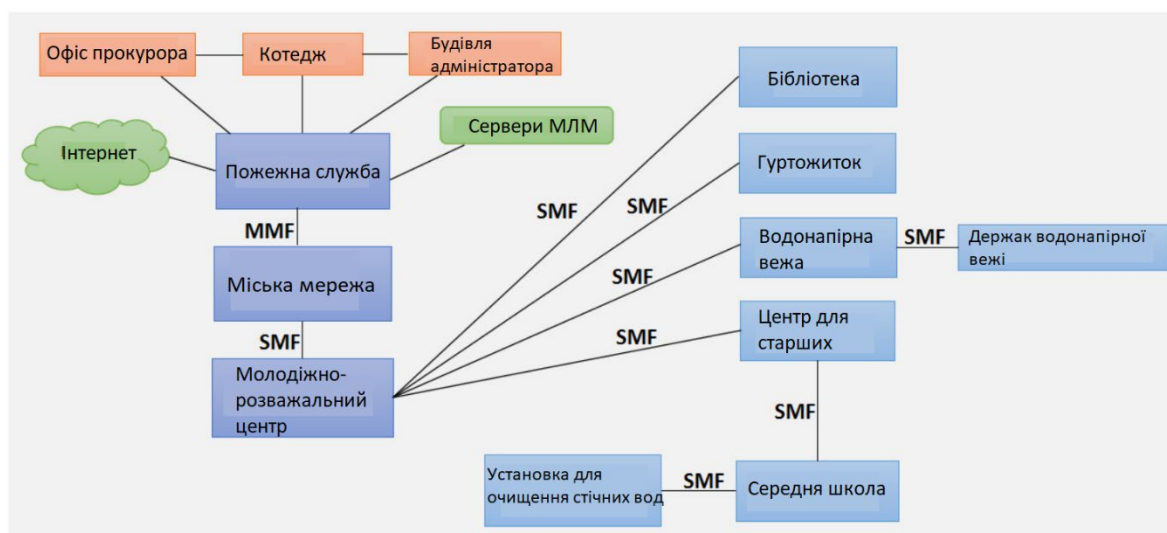


Рисунок 3.2.1 - Описна схема мережі інтернету без OADM

Мета - встановити одномодову волоконну мережу в місті для підключення численних будівель. Деякі з цих будівель мають доступ до міської локальної мережі. Суспільні будівлі потрібно з'єднати з Молодіжно-розважальним центром, бібліотекою, гуртожитком, середня школа та центр для старших. І всі ці будівлі повинні мати нефільтрований інтернет. Окрім цього, установку для очищення стічних вод слід підключити, проходячи через центр для старших. Всі ці послуги досягаються за допомогою технології CWDM.

Рішення: відповідно до вимог, це мережі CWDM з кількома будівлями, до яких можна підключитися. Ось схема рішення(рис.3.2.2).

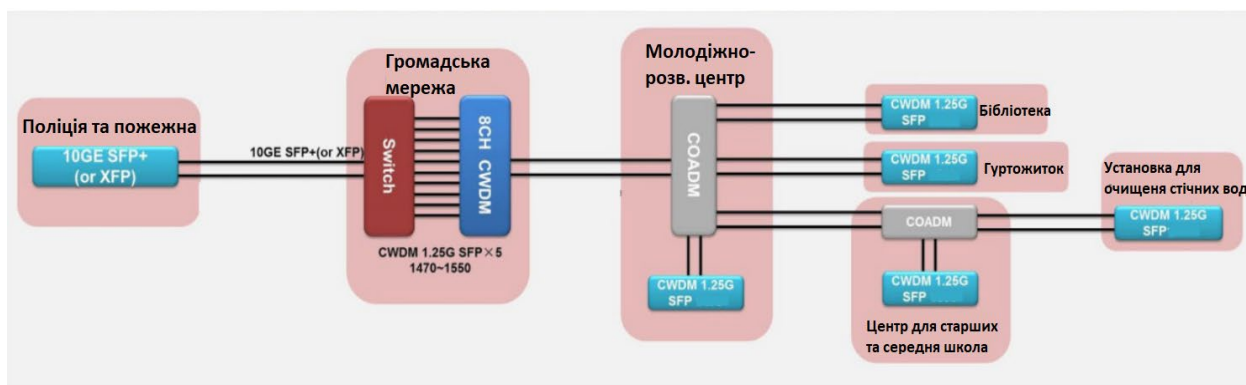


Рисунок 3.2.2 - Схема мережі інтернету з CWDM OADM

На схемі вище ми бачимо, що 8CH CWDM Mux / Demux підключений до комутаторів. Відповідно до вимог, молодіжно-розважальний центр, бібліотека, середня школа, гуртожиток та центр для людей похилого віку повинні бути пов'язані з громадською мережею та потребують отримання нефільтрованих сервісів. Отже, 4-канальний CWDM OADM розміщується після CWDM Mux / Demux. Тоді чотири довжини хвиль потрапляють у чотири будівлі. Крім того, ще один CWDM OADM розміщений у центрі для старших, для підключення очисних споруд для задоволення вимог. І на кожному етапі також потрібно використовувати оптичні приймачі CWDM[11].

3.2.2 Приклад другий

Опис: на ділянці А є три комутатори Ethernet та маршрутизатор T3. Їх робочі довжини хвиль 1470 нм, 1490 нм, 1510 нм, 1530 нм і 1610 нм. Інші ділянки В, С, і D також мають три комутатори Ethernet. А маршрутизатор T3 знаходиться на місці Е. Як показано на наступному малюнку(рис.3.2.2.1).

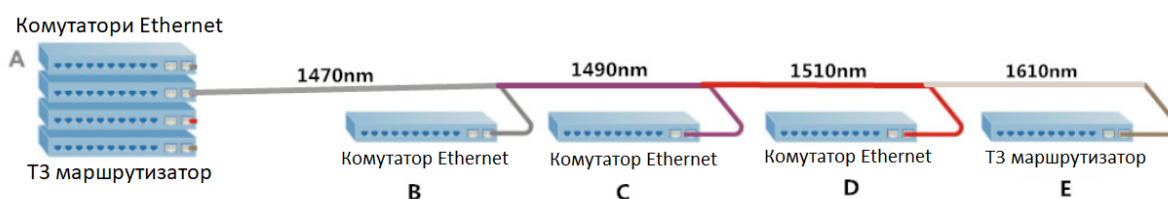


Рисунок 3.2.2.1 - Принципова схема підключення без OADM

Вимоги: враховуючи вартість, усі довжини хвиль повинні передаватися по одному волокну з використанням технології CWDM.

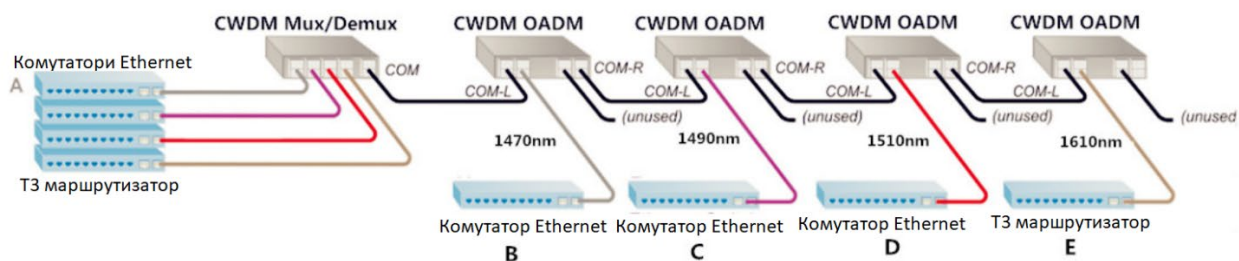


Рисунок 3.2.2.2 - Схема рішення з оптичним CWDM відгалужувачем

Рішення: відповідно до вимог, ось проста схема(рис. 3.2.2.2), що показує рішення.

З метою економії витрат використовується 4-канальний CWDM Mux/Demux для мультиплексування довжини хвилі (від трьох комутаторів та одного маршрутизатора) в одне волокно. На першій ділянці B встановлюється 1CH CWDM OADM для видалення однієї довжини хвилі, яка пов'язана з мережею B. А на інших трьох ділянках однаково виконується вивід однієї довжини хвилі, пов'язаної з відповідним комутатором або маршрутизатором.

Схематичне креслення нижче(рис. 3.2.2.3) показує 2-канальний CWDM / AD OADM із загальними лівим і загальним правим портами, які підключаються до загальної лінії CWDM, що транспортує всі довжини хвиль CWDM, і порти каналу, які додають і скидують певні довжини хвиль. Порти лівого та правого каналів дозволяють здійснювати зв'язки в кожному напрямку на загальній лінії і розгортаються в кільцевих мережах та мережах з топологією точка-точка з незалежними посиленнями по обидва боки OADM[11].

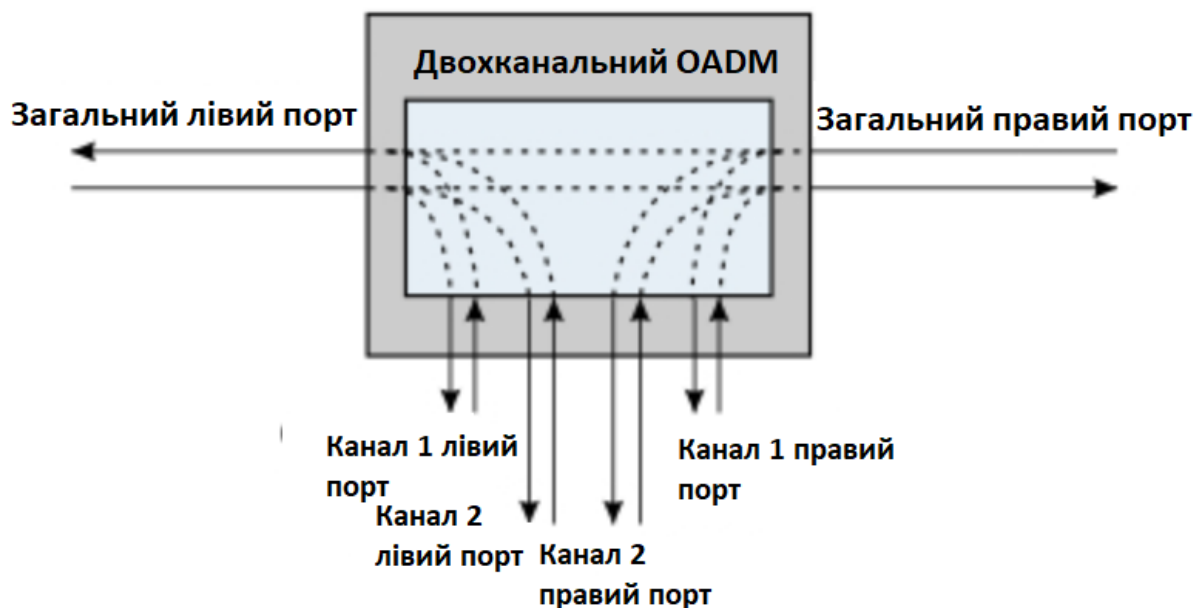


Рисунок 3.2.2.3 - Схематичне зображення двохканального OADM

1-канальний OADM працює так само, але лише з одним лівим та одним правим портом каналу.

4. ОНОВЛЕННЯ МІСЬКОЇ ВОЛОКОННО-ОПТИЧНОЇ МЕРЕЖІ «УРАН» В М.КИЄВІ РАЙОНУ АКАДЕММІСТЕЧКО

4.1 Аналіз наявної волоконної мережі

В розглянутому далі етапі мережі УРАН наявні 7 точок присутності, які знаходяться на територіях інститутів (рис.4.1)[12]:

- 1.Інститут металофізики ім. Курдюмова НАНУ - бульв. Вернадського, 36.
- 2.Інститут магнетизму НАНУ та МОНУ - бульв. Вернадського, 38.
- 3.Інститут загальної та неорганічної хімії ім. В.І.Вернадського НАНУ - бульв.Вернадського, 32/34.
- 4.Інститут геохімії навколишнього середовища НАНУ - просп. Палладіна, 34А.
- 5.Інститут геофізики ім. С.І.Субботіна НАНУ - просп. Палладіна, 32.

6.СКТБ (спеціальне конструкторо-технологічне бюро) Інституту загальної та неорганічної хімії просп. Палладіна, 38А.

А також додаткового відгалуження за адресом - бульв. Вернадського, 36 - складового приміщення Інститута Металофізики.

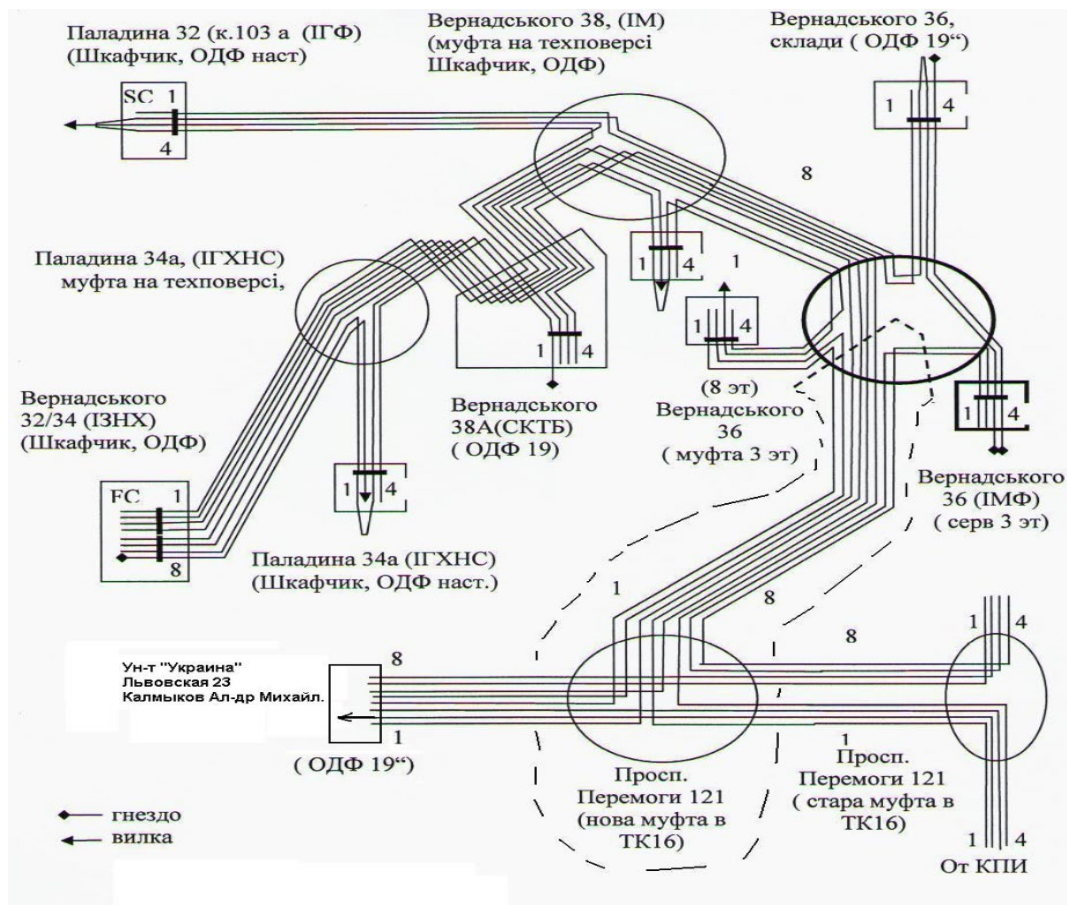


Рисунок 4.1 - Схема розварювання кабелю району Академмістечко

На території Інституту загальної та неорганічної хімії ім. В.І.Вернадського знаходиться технологічний майданчик, з встановленим комутатором звідки і буде відбуватися підключення наших точок присутності. Так само і в Національному технічному університеті України "Київський політехнічний інститут" (НТУУ КПУ) за адресом – просп. Перемоги, 37, знаходиться технологічний майданчик, з активним каналотворюючим обладнанням звідки і ведеться оптоволоконний кабель до наших локальних мереж.

Для таких топологій підключень характерна нестабільність, часто пов'язана з перебоями енергопостачання і при несправності живлення хоча б однієї з точок присутності - призводить до відсутності підключення у всіх абонентів. Також важливою є зміна 1G підключення на більш новішу 10G технологію.

Мета роботи: розробити оновлений проект топології волоконно-оптичної мережі УРАН в м.Київ, району Академмістечко з допомогою технології CWDM з оптичними мультиплексорами, для більш стабільного і надійного підключення абонентів, а також підвищення швидкості передачі.

4.2 Розробка мережі з CWDM технологією

Для підключення абонентів має бути впроваджена технологія CWDM з організацією 8 двоканальних ліній передачі даних в одному волокні на різних спектральних каналах згідно зі стандартом ITU-T G.694. [13]

Як вже зазначалося на територіях ІЗНХ та НТУУ КПІ має бути встановлене каналоутворювальне обладнання, яке потребує живлення(активне). Інші ж точки присутності ми підключимо з допомогою пасивного обладнання: оптичні мультиплексори/демультиплексори (MUX/DEMUX), оптичний відгалужувач (OADM), оптичні фільтри.

4.2.1 Обладнання, необхідне для реалізації проекту

- 1) 20 км кабелю вже прокладеного по даному маршруту це FinMark UT008-SM-03 по ITU-T G.652.D
- 2) SFP + трансивери в кількості 14 шт. SFP + трансивери є активним каналоутворюючим обладнанням вони транслюють оптичний сигнал на обраній довжині хвилі. У даних модулів характерна швидкість передачі даних 10 Гбіт/с (10G).
- 3) Оптичні мультиплексори/демультиплексори. Головні прилади для введення технології спектрального ущільнення.

- 4) Оптичні фільтри. Дане обладнання буде утворювати оптичний відгалужувач, який є головним елементом вирішення задачі.
- 5) Комутатори. Задача даних приладів – глобальна маршрутизація трафіку між абонентами. Проте, обрання комутаторів не входить до нашої компетенції, наш вплив обмежується оптичним обладнанням. В комутаторах буде розташовано SFP + модулі, як на точках присутності так і в комутаторі на головному вузлі.

4.2.2 Оптичний мультиплексор

Оптичний мультиплексор – є головною деталлю CWDM. Нам слід обрати 8-канальний мультиплексор для підключення всіх абонентів.

Аналізуючи ринок моделей CWDM мультиплексорів, мій вибір впав на 1 x 8CH CWDM MUX/DEMUX (1470~1610 +UPG port)(рис.4.2.2). Даний прилад дозволяє використовувати єдиний кабель для створення восьми незалежних SFP + з'єднань (10 Гбіт / с) дальністю до 20 км, надаючи альтернативу установці великої кількості оптичних кабелів .



Рис.4.2.2 - Восьмиканальний одноволоконний мультиплексор на 8 довжин хвиль 1 x 8CH CWDM MUX/DEMUX (1470~1610 +UPG port)

Таблиця 4.1 1 x 8CH CWDM MUX/DEMUX (1470~1610 +UPG port)[14]

Робочі довжини хвиль, нм	Від 1260
	До 1620
Число каналів	4 канали, 8 довжин хвиль
Відстань між каналами, нм	20
Точність центральної довжини хвилі каналу, нм	$\pm 0,5$
Ширина оптичного каналу (по рівню $-0,5$ дБ), нм	>14
Вносимі втрати, дБ	< 2.8
Направленість, дБ	>50

4.1

Оборотні втрати, дБ		>45
Розв'язка, дБ	Між сусідніми каналами	>30
	Між не сусідніми каналами	>40
Поляризаційні втрати, дБ		<0.15
Поляризаційна модова дисперсія, пс		<0.2
Температурні втрати, дБ		<0.4
Оптична потужність, мВт		>300
Температура експлуатації, °C		-10...+70
Температура зберігання, °C		-40...+85

4.2.3 SFP-трансивери

Нашим завданням є побудова волоконно-оптичної мережі з використанням каналоутворювального обладнання, даний аспект вирішує відповідна кількість SFP + модулів. Підключення потребують 7 точок присутності. Отже, потрібно використати 14 CWDM модулів із 7 різними довжинами хвиль. Обраний раніше оптичний мультиплексор дозволяє використовувати широкий ряд трансиверів. SFP+ 10G CWDM 20km 1270nm~1610nm DOM LC (SFP-10G-LR-CWDM)(рис.4.2.3) гарно підходить для нашого проекту, за рахунок його великої кількості доступних довжин хвиль, невеликої ціни та високої швидкості.

Приймач у модулів SFP CWDM широкосмуговий, а значить, два модуля з будь-якими довжинами хвиль передачі можуть працювати в парі. Але для роботи в парі такі модулі використовувати нерозумно, вся міць даної технології розкривається при використанні 16-ти(в нашому випадку 12) модулів з різними довжинами хвиль, підключеними до мультиплексору. Мультиплексор «збирає» світло різних довжин хвиль, який передається з передавачів SFP CWDM модулів, і «об'єднує» зібране в єдиний світловий пучок, що передається потім по одному одномодовому волокну далі. Прийом даних відбувається в зворотному порядку[15].



Рисунок 4.2.3 - Зовнішній вигляд SFP+ 10G CWDM 20km 1270nm~1610nm DOM LC (SFP-10G-LR-CWDM)

Таблиця 4.2 Характеристики CWDM модуля SFP+ 10G CWDM 20km
1270nm~1610nm DOM LC (SFP-10G-LR-CWDM)

Тип форми	SFP+
Довжина хвилі	1270-1610 нм
Роз'єм	LC
Медіа	SMF
ТХ Потужність	2~5dBm
Комерційний температурний діапазон	0 ~ 70°C (32 ~ 158°F)
Мах. відстань передачі	20 km

4.2.4 Оптичні відгалужувачі

Оптичний відгалужувач (OADM), в нашому проєкті ми реалізуємо в якості оптичних CWDM фільтрів. Він потрібен для виділення потрібних довжин хвиль для утворення оптичних каналів абонентам.

Фільтр NG OPTICS CWDM single CH OADM LC/UPC (рис.4.2.4) добре нам підходить, за рахунок підтримки потрібного роз'єму та широкого діапазону довжин хвиль. Використовуючи кілька таких фільтрів на певні довжини хвиль можна отримати компактні CWDM OADM або CWDM MUX / DMUX, які можна розмістити, наприклад, безпосередньо в муфтах.

Всі світлові сигнали проходячи оптичний фільтр зазнають незначних енерговтрат, в нашому випадку 0,6 дБ.

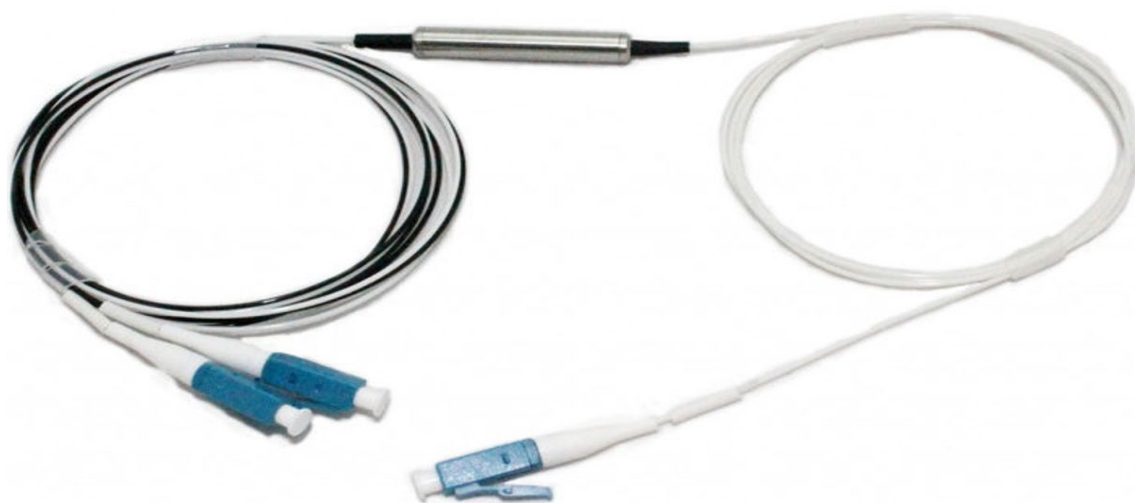


Рисунок 4.2.4 - Зовнішній вигляд одного оптичного фільтра CWDM

Таблиця 4.3. Технічні характеристики Фільтра NG OPTICS CWDM single CH OADM LC/UPC[16]

Кількість каналів	1
Робоча довжина хвилі	1270~1610 нм
Крок каналу	20 нм
Полоса пропуску	± 7 нм
Втрати	T 0,6 дБ R 0,8 дБ
Поляризаційні втрати	<0,10 дБ
Коефіцієнт відбивання	>45 дБ
Робоча температура	-10 ~ +75 °C

Габарити	5,5 * 38 мм
----------	-------------

4.2.5 Вузлові комутатори

Нам важливо порекомендувати комутатор для вдалої маршрутизації трафіку в нашій системі. Так в Національному технічному університеті України "Київський політехнічний інститут" (НТУУ КПІ) за адресом – просп. Перемоги, 37 на технологічному майданчику, слід поставити прилад з достатньою кількістю слотів для SFP+ трансиверів.

За попередніми розрахунками нам потрібен 8-портовий комутатор, і важливо щоб він мав до 7 портів SFP+. Можливе використання і 16-портового комутатора для подальшого розширення мережі.

4.3 Розробка топології мережі «УРАН» в м.Києві району Академмістечко, на основі технології спектрального ущільнення.

Оскільки мультиплексор/демультиплексор (так само, як оптичний фільтр, що відгалужує від потоку одну довжину хвилі) працюють в обидва боки, то для сегменту мережі з максимум 8 клієнтами можна задіяти схему, як на (рис.4.3)

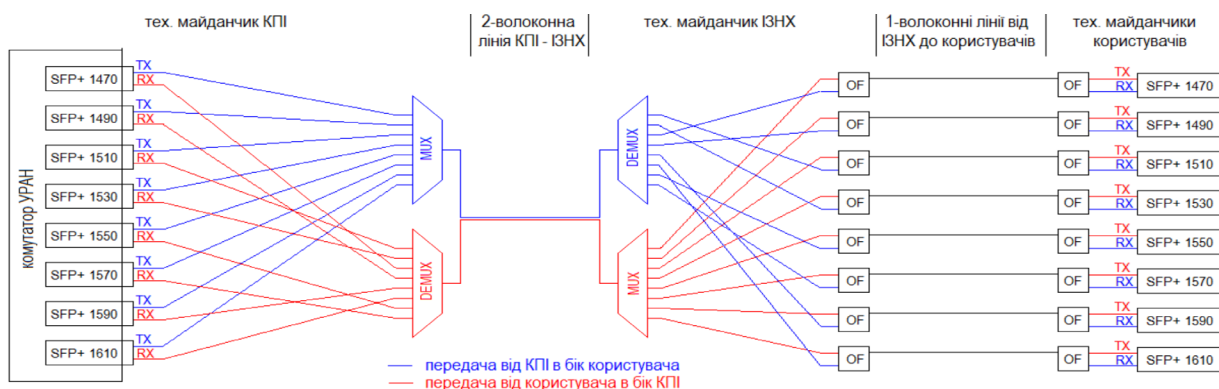


Рисунок 4.3 - Схема підключення сегменту мережі «УРАН» в м.Києві району Академмістечко

Задіяні 8 довжин хвиль поза "водяним піком" з мінімальним поглинанням. Від КПІ до ІЗНХ - двоволоконна лінія, по одному волокну йдуть 8 каналів в бік користувачів, по другому - 8 каналів в бік КПІ. Від ІЗНХ до кожного клієнта - одноволоконні лінії, по них йдуть два канали до користувача і від нього на двох довжинах хвиль, що відрізняються між собою на 40 нм, тобто через один канал, для надійнішого розділення каналів.

Всюди використовуються двоволоконні SFP+ , їх довжина хвилі передачі (TX, Transceiver=передавач) надписана. Приймають (RX, Receiver=приймач) їх потік на довжині хвилі, що відрізняється на 40 нм.

Таблиця 5. Розподіл довжин хвиль серед абонентів

Клієнт	Передача в бік КПП	Прийом
1	1470	1510
2	1490	1530
3	1510	1470
4	1530	1490
5	1550	1510
6	1570	1530
7	1590	1550
8	1610	1570

Схема на рис.4.3.1 - це наш конкретний випадок, коли користувачів не 8, а лише 6, крім того, ІЗНХ підключається локально без одноволоконної з'єднувальної лінії. На цій схемі наведено все потрібне обладнання і можна порахувати його вартість:

SFP+ - 12 шт. Загальна ціна 18000-27500 грн.

MUX/DEMUX - 4 шт. Загальна ціна 13600 грн.

OF - 10 шт. Загальна ціна 3340 грн.

В сумі: 35000 – 44500 грн.

На рис.4.3.2 зображено остаточну топологію мережі «УРАН» в м.Києві району Академмістечко, на основі технології спектрального ущільнення.

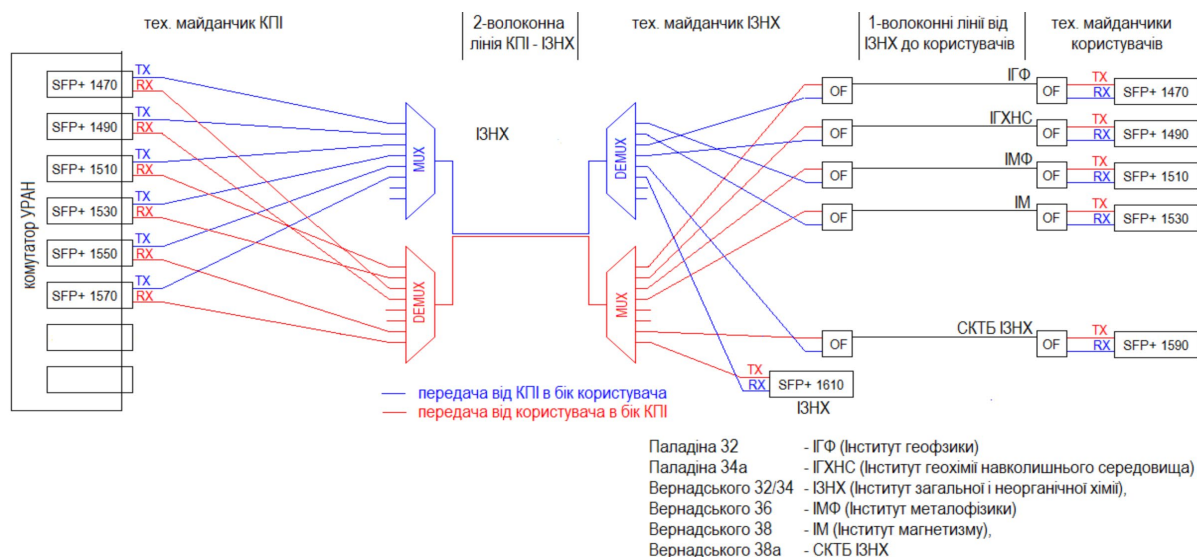


Рисунок 4.3.1 - Остаточна схема підключення сегменту мережі «УРАН» в м.Києві району Академмістечко

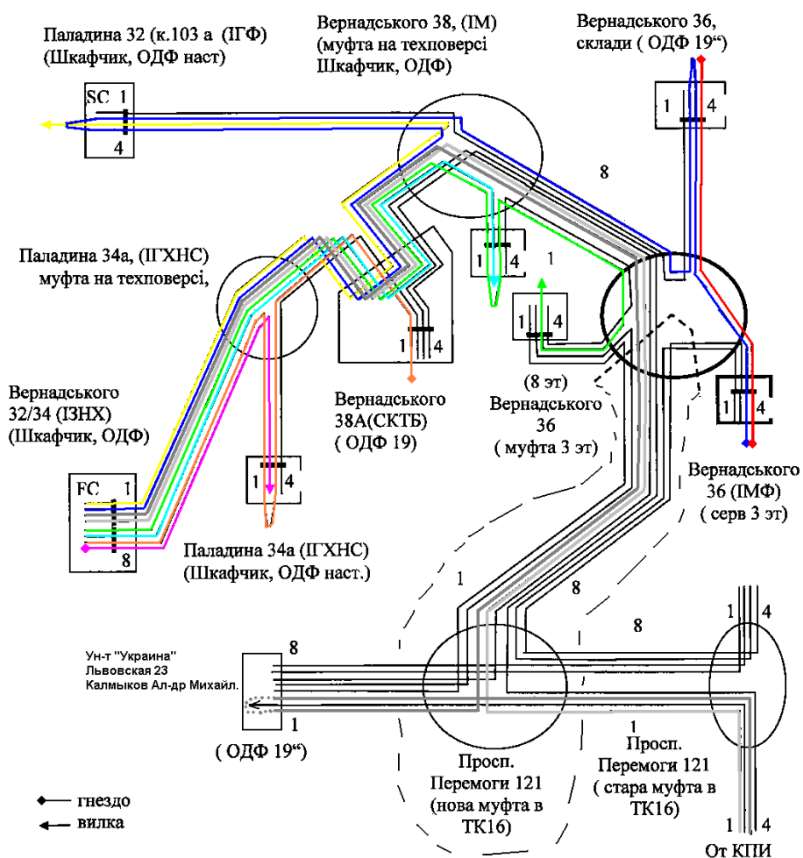


Рисунок 4.3.2 - Топологія мережі «УРАН» в м.Києві району Академмістечко, на основі технології спектрального ущільнення.

ВИСНОВКИ

Поступово все більше користувачів переходять на мережі з технологіями спектрального ущільнення таких як CWDM, DWDM. Важливою частиною таких мереж є OADM, що пояснює покращення ринкової ситуації даного приладу. CWDM технологія вдосконалює мережі зменшуючи ціну експлуатаційних витрат та собівартості мережі, дає відносну незалежність від клієнтських протоколів та енергопостачання, збільшує кількість оптичних каналів в одному волокні та максимальну дистанцію роботи.

В даній роботі було розроблено проект модернізації мережі «УРАН» в м.Києві району Академмістечко, що базується на технології грубого спектрального ущільнення з використанням оптичних відгалужувачів.

Переваги такого рішення наведені в даній роботі. Також застосування технології грубого спектрального ущільнення створило перспективу переходу абонентів з поточної швидкості 1 Гбіт/с до 10Гбіт/с та подальшу можливість підключення більшої кількості користувачів. Ціна для реалізації даного проекту вийшла близько 35-45 тис. грн. Недоліком же є необхідність використання передавачів з великою потужністю сигналу.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ:

1. Воробієнко, П.П. «Телекомунікаційні та інформаційні мережі»: навч. посіб. / П.П. Воробієнко, Л.А. Нікітюк, П.І. Резніченко – К. : «Самміт-книга», 2010. – 640 с. – ISBN 978-966-7889-53-1
2. CWDM – это просто! [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: <http://www.ic-line.ru/proekt-pro-cwdm/cwdm-eto-prosto/>
3. «DWDM-системы» Авторы издания: д.ф-м.н. Листвин Владимир Николаевич, генеральный директор «Т8» [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://www.t8.ru/?page_id=10740
4. Будова мультиплексорів/демультиплексорів CWDM, їх різновиди [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://www.omnilink.com.ua/ukr/articles/cwdm_mat4ast3.
5. Чи знаєте ви OADM? - Знання - Шеньчжень HTFuture Co., Ltd [Електронний ресурс]- Режим доступу до ресурсу: <https://www.ua.fiber-optical-transceivers.com/info/do-you-know-oadm-52203267.html>
6. GLOBAL OPTICAL ADD-DROP MULTIPLEXER(OADM) MARKET RESEARCH REPORT 2021 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.360researchreports.com/enquiry/request-covid19/17311708>
7. Слепов Н.Н., ОПТИЧЕСКИЕ МУЛЬТИПЛЕКСОРЫ ВВОДА-ВЫВОДА / Н.Н. Слепов – К. : ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ, 2001, №1, с.40-43
8. Горшков В. В. Моделювання параметрів фільтра оптичного мультиплексора на брегівських структурах [Електронний ресурс] / В. В. Горшков, В. В. Файчук, В. В. Деркач ; наук. кер. С. Є. Тужанський // Матеріали XLIX науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 27-28 квітня 2020 р. – Електрон. текст. дані. – 2020. – Режим доступу: https://www.conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fksa/all-fksa_2020/paper/view/9425.

9. Б. А. Усиевич, В. А. Сычугов, О. Парье, “Узкополосный оптический фильтр на основе интерферометра Фабри–Перо с одним волноводно-решеточным зеркалом”, [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: https://www.mathnet.ru/php/archive.phtml?wshow=paper&jrnid=qe&paperid=2480&option_lang=rus

10. Бондаренко В.Г. Технічна експлуатація систем і мереж зв'язку / В. Г. Бондаренко; Київ. ін-т електрозв'язку Укр. держ. акад. ім. О.С.Попова. – К. : Знання, 1997. – 99 с.

11. Examples of CWDM Network Deployment Solution [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.fiber-optic-components.com/examples-cwdm-network-deployment-solution.html>

12. Мережа УРАН Загальні відомості [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.uran.net.ua/~ukr/frames.htm>.

13. Журнал MediaSat (март 2013г.) — Стаття «Революция сетестроения в Украине» (стр. 40-41; Игорь Никишин) [Електронний ресурс] – режим доступу до журналу: <http://www.ic-line.ru/obzor-proekta-i-texnologii-pon/>

14. 1 x 8CH CCWDM MUX/DEMUX (1470~1610 +UPG port) – Net UA Shop [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.net-ua.shop/product/1-x-8ch-ccwdm-mux-demux/>

15. SFP+ 10G CWDM 20km 1270nm~1610nm DOM LC (SFP-10G-LR-CWDM) – Net UA Shop. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.net-ua.shop/product/sfp-10g-cwdm-20km-1270nm1610nm-dom-lc/#&gid=1&pid=1>

16. CWDM Add-Drop фільтр (OADM) – Net UA Shop [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.net-ua.shop/product/cwdm-add-drop-filter/>