

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

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри

Роман ОДАРЧЕНКО
“ _____ ” _____ 2023 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА
РОБОТА
(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)**

ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВР

Тема: «Волоконно-оптична мережа для Gigabit Ethernet»

Виконавець: _____ Максим АНДРІЄВСЬКИЙ
(підпис)

Керівник: _____ Веніамін АНТОНОВ
(підпис)

Нормоконтролер: _____ Денис БАХТІЯРОВ
(підпис)

Київ 2023

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет аеронавігації, електроніки та телекомунікацій

Кафедра телекомунікаційних та радіоелектронних систем

Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Освітньо-професійна програма «Телекомунікаційні системи та мережі»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Роман ОДАРЧЕНКО

“ ” 2023 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання кваліфікаційної роботи

Андрієвського Максима Юрійовича

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

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Волоконно-оптична мережа для Gigabit Ethernet» затверджена наказом ректора від «29» березня 2023 р. № 421/ст
2. Термін виконання роботи: з 22.05.2023 р. по 25.06.2023 р.
3. Вихідні дані до роботи: GEPON використовує 1 спліттер 2:2 і 4 спліттери 1:16
4. Зміст пояснювальної записки: Вступ, Використання CWDM і GEPON в одному ОВ для збільшення зони охоплення NGA, Архітектури накладення CWDM PON, Проектування мережі CWDM-GEPON, Висновки
5. Перелік обов'язкового графічного (ілюстративного) матеріалу: Приклад мережевої архітектури GEPON, Метро CWDM сітка довжин хвиль згідно з ITU-T G.694.2, Організація зв'язку в комбінованих CWDM+GEPON системах, Загальна діаграма накладання CWDM PON, Пропонована архітектура накладання WDM PON з використанням стандартизованих діапазонів приймачів, Оптичний спектр низхідного та висхідного сигналів в OLT для PON з радіусом дії 20 км, Поперечний переріз кабелю, що застосовується, Волоконно-оптична мережа для Gigabit Ethernet з використанням пасивного CWDM

6. Календарний план-графік

| № пор. | Завдання | Термін виконання | Відмітка про виконання |
|--------|---|---------------------------|------------------------|
| 1 | Розробити деталізований зміст розділів кваліфікаційної роботи | 22.05.2023- 24.05.2023 | Виконано |
| 2 | Вступ | 25.05.2023 | Виконано |
| 3 | Використання CWDM і GEPON в одному ОВ для збільшення зони охоплення NGA | 26.05.2023- 29.05.2023 | Виконано |
| 4 | Архітектури накладення CWDM PON | 30.05.2023- 07.06.2023 | Виконано |
| 5 | Проектування мережі CWDM-GEPON | 08.06.2023- 14.06.2023 | Виконано |
| 6 | Усунення недоліків та захист кваліфікаційної роботи | 15.06.2023- 25.06.2023 | Виконано |

7. Дата видачі завдання: “19” травня 2023 р.

Керівник кваліфікаційної роботи

_____ (підпис керівника)

Веніамін АНТОНОВ

(П.І.Б.)

Завдання прийняв до виконання

_____ (підпис випускника)

Максим АНДРІЄВСЬКИЙ

(П.І.Б.)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота «Волоконно-оптична мережа для Gigabit Ethernet» містить 53 сторінок, 21 рисуноків, 2 таблиці, 14 використаних джерел.

ANSI, DWDM, EPON, ETSI, FTTH, GPON, GEPON, GPON, ODN, OLT, ONT, ONU, CWDM.

Об'єкт дослідження – є волоконно-оптична мережа для надання Gigabit Ethernet.

Предмет дослідження – є комбінована мережа CWDM-GEPON.

Мета кваліфікаційної роботи – полягає в тому, щоб за допомогою модернізації мережі GEPON збільшити кількість оптичних розподільчих мереж (ODN), що живляються одним волокном, при збереженні пропускної здатності користувачів.

Матеріали кваліфікаційної роботи рекомендується використовувати при модернізації існуючих мереж GEPON, що дозволить без прокладання додаткових волоконно-оптичних кабелів та використання додаткових волокон збільшити зону охоплення (до 500 км) та ємність існуючої GEPON мережі, організувати виділені канали зв'язку, а також створити нові мережі зв'язку поверх існуючих мереж GEPON.

ЗМІСТ

| | |
|---|----|
| ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ | 6 |
| ВСТУП | 8 |
| РОЗДІЛ 1. ВИКОРИСТАННЯ CWDM І GERON В ОДНОМ ОВ ДЛЯ ЗБІЛЬШЕННЯ ЗОНИ ОХОПЛЕННЯ NGA | 12 |
| 1.1. Загальні положення Gigabit Ethernet | 12 |
| 1.2. GERON (Gigabit Ethernet Passive Optical Network) | 13 |
| 1.3. CWDM (грубий мультиплексор із поділом по довжині хвилі) | 15 |
| 1.4. Збільшення зони охоплення мультисервісних мереж доступу | 17 |
| РОЗДІЛ 2. АРХІТЕКТУРИ НАКЛАДЕННЯ CWDM PON | 21 |
| 2.1. Традиційна архітектура накладання CWDM PON | 21 |
| 2.2. Внутрішньосмугова архітектура накладання WDM PON | 22 |
| 2.3. Модернізація мережі PON | 24 |
| 2.4. Модернізація та розширення мережі | 28 |
| РОЗДІЛ 3. ПРОЕКТУВАННЯ МЕРЕЖІ CWDM-GERON | 33 |
| 3.1. Переваги CWDM системи перед іншими системами | 33 |
| 3.2. Розрахунок параметрів оптичного волокна | 34 |
| 3.3. Розрахунок оптичного волокна для обраного району | 37 |
| 3.3.1 Розрахунок апертури | 37 |
| 3.3.2 Розрахунок дисперсії | 42 |
| 3.4. Оптичний доступ на основі WDM | 44 |
| 3.5. Розрахунок моделі мережі WDM-PON наступного покоління | 46 |
| ВИСНОВКИ | 50 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ | 52 |

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

| | |
|--------|---|
| ANSI | Американський національний інститут стандартів |
| APON | Асинхронний режим передачі пасивна оптична мережа |
| BPON | Широкозмугова пасивна оптична мережа |
| CO | Місцева станція |
| CPE | Мережа в приміщенні користувача |
| DWDM | Компактне спектральне ущільнення |
| EPON | Пасивна оптична мережа Ethernet |
| ETSI | Європейський Інститут Телекомунікаційних Стандартів |
| FTTA | Волокно до антени |
| FTTB | Волокно до будівлі |
| FTTC | Волокно до бордюру |
| FTTH | Волокно до будинку |
| FTTx | Волокно до x |
| GEPON | Gigabit Ethernet PON - стандарт пасивних оптичних мереж IEEE 802.3ah, що базується на Gigabit Ethernet і забезпечує повну сумісність з IP-мережами. |
| GPON | Гігабітна пасивна оптична мережа |
| GPON | Gigabit PON - стандарт пасивних оптичних мереж ITU-T G.984.3, що розглядається як органічне продовження APON/BPON |
| HDTV | Телебачення високої чіткості |
| HTML | Мова розмітки гіпертексту |
| IEEE | Інститут інженерів з електроніки та електротехніки |
| IP | Межсетевой протокол |
| IT | Інформаційні технології |
| ITU-T | Міжнародний союз електрозв'язку, секція телекомунікацій |
| ITU-T | Міжнародний союз електрозв'язку |
| MAC | Контроль доступу до середовища |
| NG-PON | Пасивна оптична мережа наступного покоління |
| ODN | Оптична розподільна мережа |
| OLT | Оптичне закінчення лінії |
| ONT | Оптичне мережеве закінчення |
| ONU | Оптичний мережевий блок |
| ONU-ID | Ідентифікація ONU |
| PLEND | Поле довжини корисного навантаження |
| PLOAM | Експлуатація, допуск та обслуговування фізичного рівня |

| | |
|------|---|
| PMP | Point-to Multipoint - конфігурація «точка - безліч точок» |
| PON | Пасивна оптична мережа |
| PPP | Point-to-Point Protocol - протокол «точка-точка» |
| WDM | Спектральне ущільнення каналів. Технологія, що дозволяє одночасно передавати кілька інформаційних каналів по одному оптичному волокну на різних несучих частотах. |
| xDSL | x Цифрова абонентська лінія |
| MCE | Міжнародний союз електрозв'язку |

ВСТУП

Якщо 10 років тому питання про правильну майбутню архітектуру класичної фіксованої мережі стояли на першому плані, то сьогодні ключове питання полягає в тому, як ми можемо задовольнити попит, що постійно зростає, кінцевих користувачів з точки зору пропускної спроможності і якості в перспективній та ефективній мережі. спосіб як приватного, так комерційного використання. Починаючи з класичної фіксованої мережі з мідними парами від головного розподільного щита (MDF) через розподільну коробку (PK) до кінцевого абонента, технології були або на основі мідних пар з векторизацією VDSL, VDSL2, G.fast, XG.fast, або волоконно - оптичний FTTB або FTTH з G-PON, XG-PON, XGS-PON, NG-PON2, TWDM-PON з оптоволоконної топології «точка-многоточка» (PtMP) або простий FTTH з двоточною топологією (PtP). Майбутня роль кабельних телевізійних мереж у цьому контексті також неодноразово обговорювалася аж до DOCSIS 4.0 включно.

В даний час існує згода щодо того, що в майбутньому волоконно-оптична PtP топологія, яка, швидше за все, буде довгостроковою підтримуючою інфраструктурою, що забезпечує високий рівень гнучкості та найвищу якість з урахуванням вимог замовника. Це навіть підходить для передачі майбутніх терабітних потужностей між високопродуктивними дата-центрами (НРС) (або хмарами) не тільки один одному, а й користувачам, що знаходяться десь. З метою забезпечення загальноєвропейської платформи для високих інноваційних потенціалів користувачі можуть бути навіть десь у гаражі.

Це узагальнює властивості основних технологій передачі та визначає різні шляхи міграції для досягнення мети волоконно-оптичної архітектури PtP. Розширення інфраструктури широкосмугового доступу в Європі та інших країнах, як і раніше, залишається актуальною темою, навіть понад 25 років після заснування перших міських операторів зв'язку на основі оптоволокна.

У той час як у деяких країнах понад 20 років тому вважалося, що інфраструктура в будівлях також має бути спроектована відповідним чином, щоб забезпечити

широкосмугове покриття, крім класичного телефонного кабелю, Україна не лише в цьому відношенні відстає від своїх європейських партнерів.

Є ознаки того, що попит на пропускну спроможність найближчими роками зростатиме швидше, ніж очікувалося або очікуватиметься провідним мережним оператором. З розширенням FTTC у поєднанні з векторизацією VDSL було зроблено ставку на поступове розширення волоконно-оптичної інфраструктури, яка дедалі ближче до кінцевого споживача. Завдяки цій стратегії розширення поступово досягається вища пропускну здатність за допомогою більш короткого мідного з'єднувального кабелю.

У багатьох відношеннях поступове розгортання інфраструктури широкосмугового зв'язку є складним, дорогим та трудомістким процесом.

Сучасні оптичні пасивні мережі (PON), такі як гігабітна пасивна оптична мережа (GPON) і гігабітна пасивна оптична мережа Ethernet (GEPON), визнані лідерами ринку в розгортанні оптичного доступу.

Тривіальна еволюція PON полягає у збільшенні бітрейту передачі до 10 Гбіт/с або використанні щільного мультиплексування з поділом по довжині хвилі (DWDM). Однак існують також деякі дослідження ITU-T щодо реалізації концепції накладання PON або стекування PON з грубим поділом по довжині хвилі (CWDM), які є розширеннями стандартного обладнання PON, заснованого на кількох незалежних кольорових системах PON через єдину інфраструктуру оптичної розподільної мережі (ODN) та які дозволяють розділяти рівень довжини хвилі.

Актуальність теми. Раніше пропонувалася оверлейна мережа CWDM PON для збільшення кількості ODN, що живляться від одного волокна і також було запропоновано накладення CWDM PON для чотирикратного збільшення пропускну здатності низхідного потоку (DS) мережі при збереженні швидкості висхідного потоку (US) на 1,25 Гбіт/с.

Запропонована архітектура забезпечує високу пропускну здатність FTTH, що дозволяє видавати 10 Гбіт/с на кінцевого користувача. Збільшення кількості абонентів у майбутньому призведе до масового перевантаження даних, що передаються по оптичній мережі. Рішення використовує технологію мультиплексування за довжиною хвилі PON (CWDM-PON) для досягнення високої пропускну здатності та величезної

передачі даних під час доступу до мережі. Модифікації фізичного рівня використовуються для забезпечення задовільного рішення для потреб пропускної здатності.

Таким чином, за допомогою недорогих технологій можна досягти високої швидкості передачі даних по всій мережі. Ця модифікація забезпечить широку смугу пропускання, придатну для майбутнього Інтернету.

Оптична мережа доступу привертає велику увагу, це через низькі втрати та величезну пропускну здатність оптичного волокна, зростаючий попит на пропускну здатність, покриття та переваги, які вона пропонує з точки зору недорогої оптичної системи, все це що робить його ідеальним кандидатом для майбутньої мережі доступу. Мережа та постачальники послуг прагнуть зменшити свої операційні витрати. Концепція використання пасивної оптичної мережі (PON) є привабливим варіантом. У PON немає активних компонентів між центральним офісом і приміщеннями клієнта, що може усунути потребу в живленні та управлінні активними компонентами в кабельній системі мережі доступу, і зазвичай PON має деревоподібну топологію, щоб максимізувати їх покриття. з мінімальними розривами мережі, таким чином зменшуючи втрати оптичної потужності.

Існує дві альтернативи для мереж метро WDM: щільний WDM (DWDM) і CWDM. У середовищах з великою місткістю використовується DWDM. У DWDM розділення каналів може становити лише 0,8 або 0,4 нм для 80 оптичних каналів зі швидкістю до 10 Гбіт/с. Технологія DWDM дуже дорога, тому її застосування в мережах доступу утруднено. Натомість CWDM стає надійним і економічним рішенням.

Перевага технології CWDM полягає в недорогих оптичних компонентах. CWDM пропонує рішення для додатків 850, 1300 і 1500 нм зі швидкістю 10 і 40 Гбіт/с на 15 оптичних каналах, розділених на 20 нм. Крім того, мультиплексор довжини хвилі з низькими перехресними перешкодами каналу можна легко реалізувати для CWDM. Стверджується, що загальна вартість системи на 40% дешевша для CWDM-PON [6].

Мета і завдання дослідження полягає в тому, щоб за допомогою модернізації мережі GPON збільшити кількість оптичних розподільчих мереж (ODN), що живляються одним волокном, при збереженні пропускної здатності користувачів.

Для досягнення поставленої мети вирішуються такі наукові завдання.

1. Застосування комбінованих CWDM+GEPON систем на етапах створення або модернізації існуючих мереж GEAPON.
2. Збільшення кількості оптичних розподільних мереж (ODN) при збереженні пропускної спроможності користувачів.

Об'єктом дослідження – є волоконно-оптична мережа для надання Gigabit Ethernet.

Предметом дослідження – є комбінована мережа CWDM-GEAPON.

Практичне значення отриманих результатів.

Цей проект призначений для модернізації існуючих мереж GEAPON, що дозволить без прокладання додаткових волоконно-оптичних кабелів та використання додаткових волокон збільшити зону охоплення (до 500 км) та ємність існуючої GEAPON мережі, організувати виділені канали зв'язку, а також створити нові мережі зв'язку поверх існуючих мереж GEAPON.

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

- Науково-практична конференція «Проблеми експлуатації та захисту інформаційно-комунікаційних систем», м. Київ, 2023 р.

РОЗДІЛ 1

ВИКОРИСТАННЯ CWDM I GERON В ОДНОМ ОВ ДЛЯ ЗБІЛЬШЕННЯ ЗОНИ ОХОПЛЕННЯ NGA

1.1. Загальні положення Gigabit Ethernet

Пасивна оптична мережа (PON) була винайдена в British Telecom наприкінці 1980-х років. Початкова концепція полягала у використанні мультиплексування з часовим поділом для розподілу доступної смуги пропускання між багатьма абонентами. Оптоволоконна мережа між обладнанням центрального офісу та обладнанням клієнта буде повністю пасивною. На той час це було значною мірою мотивовано відносно високою вартістю лазерів (на той час вони коштували значно більше 1000 доларів США) і низькою пропускнуною спроможністю користувачів (телефонія була основним застосуванням). З цієї причини було розпочато велику кількість досліджень для вивчення PON. PON вже давно розглядається як важлива частина багатьох стратегій Fibers to the Home (FTTH). Перш за все, PON є привабливими, тому що вони економлять на волокнах, що ведуть від центрального офісу до обслуговуваних громад, і зменшують кількість оптоелектроніки в центральному офісі, забезпечуючи пряму та непряму економію. Однак від початкової розробки PON до широкомасштабного розгортання, яке відбувається сьогодні, минуло багато часу. На це є як технічні, так і економічні причини. Пасивні оптичні мережі є економічно привабливими, оскільки кілька користувачів можуть спільно використовувати спільні ресурси. Як правило, до 64 користувачів можуть спільно використовувати порт PON на OLT.[1]

Вартість OLT на одного користувача зменшується, оскільки більше користувачів використовують той самий порт. Залежно від розміщення оптичного розгалужувача різні частини ресурсів зовнішньої кабельної системи (OSP), такі як матеріал волокна і витрати на зрощення, також можуть бути розділені між кількома користувачами. Збільшуючи спільне використання ресурсів OSP, деякі архітектури сплітерів знижують вартість OSP для кожного користувача. Однак, ці архітектури обмежують

ефективність спільного використання ресурсів OLT, що призводить до чистого збільшення загальних витрат на користувача [1-6]. Зараз розглядаються три основні технології PON як основа для розгортання FTTH: Широкосмуговий зв'язок PON (BPON), Gigabit PON (GPON) і GE-PON.

1.2. GEPON (Gigabit Ethernet Passive Optical Network)

Пасивна оптична мережа Gigabit Ethernet (GEPON) — це оптична мережа, одна із стандартів технології PON (Passive Optical Network). Вона складається з OLT, розташованого в центральному офісі (CO), і групи кінцевих оптичних мереж (ONT) на віддалених вузлах, розташованих на території клієнта. З'єднання між OLT і ONT здійснюється за допомогою одного волокна та використання одного або кількох оптичних розгалужувачів. Мережа між OLT і ONT пасивна. Наявність у мережі лише пасивних елементів робить її відносно більш стійкою до збоїв і зменшує витрати на експлуатацію та технічне обслуговування після того, як інфраструктура закладена. ONT знаходиться в приміщенні клієнта або поблизу нього. Він може бути розташований за місцем проживання абонента, в будівлі або на бордюрі зовні [7].

Обладнання стандарту GEPON призначено для побудови мережі абонентського доступу наступного покоління (NGA), що дозволяють передавати потоки даних стандарту 10/100/1000BASE-TX по одному волокну на відстань до 40 км. Максимальне видалення клієнтського пристрою ONU від станційного OLT визначається мінімальною вихідною потужністю оптичного передавача у OLT, чутливістю оптичного приймача у ONU, втратами у волокні, топологією мережі (дерево, ланцюг або їх поєднання) та кількістю оптичних ділянок – спліттерів, встановлених між OLT та ONU. Сигнали від OLT та ONU передаються на різних довжинах хвиль. В обладнанні застосовуються оптичні передавачі, що працюють на довжинах хвиль 1310 нм (передача у напрямку від ONU до OLT) та 1490 нм (передача у напрямку від OLT до ONU).

Мережева архітектура GEPON заснована на топології «точка-многоточка» (PtMP). У такій архітектурі PON мережеві оператори використовують оптоволокну з

центрального місця розташування, такого як центр комутації або головний розподільчий щит, для декількох клієнтів. Тільки пасивний оптичний розгалужувач у точці передачі (розподілі) поділяє сигнал від вхідного скловолокна на всі вихідні скловолокна. [8]

Гігабітна пасивна оптична мережа (GPON) - це одна з технологій, розроблених ІТУ-Т через G.984, і досі вона конкурувала з GEPON (Gigabit Ethernet PON), яка є версією IEEE PON, засновану на технології Ethernet.

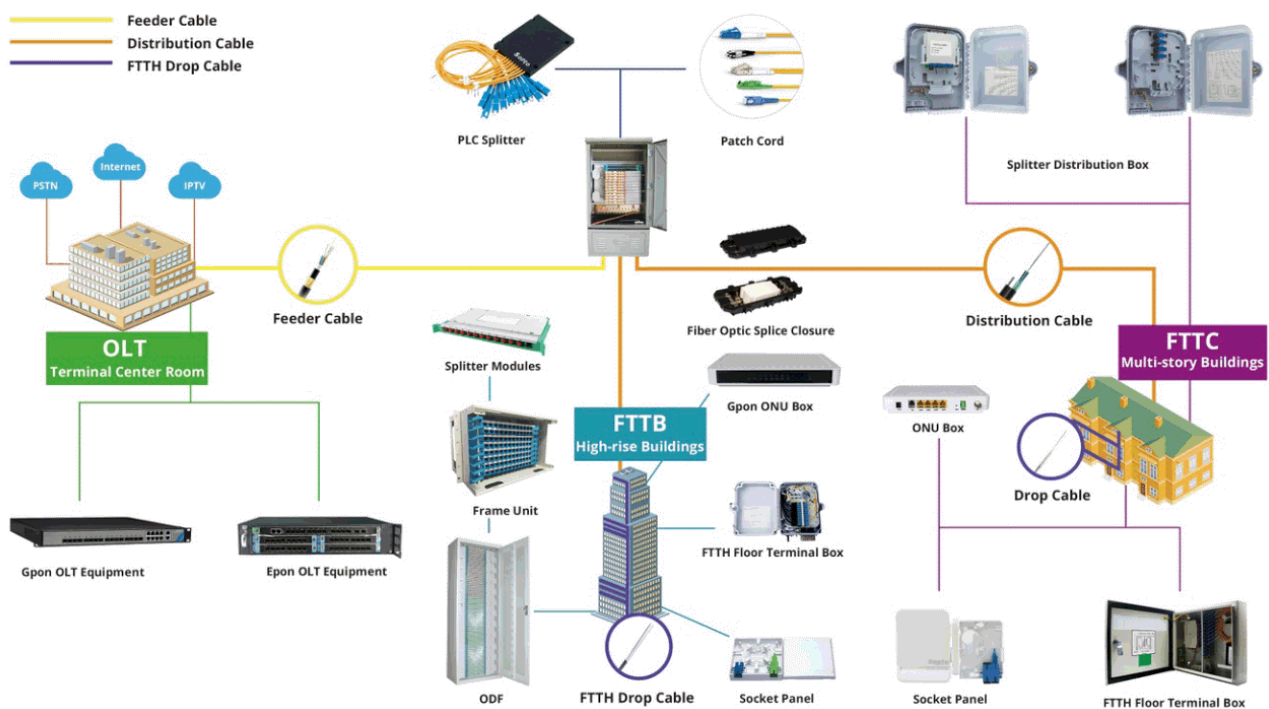


Рис. 1.1. Приклад мережевої архітектури GEPON

GPON домінує на ринку і розвивається швидше, ніж проникнення GEPON. Стандарт G.984 підтримує вищі швидкості передачі, покращення безпеки та вибір протоколів рівня 2 (ATM, GEM або Ethernet).

І GPON, і GEPON використовують оптичне волокно як середовище передачі. Один пристрій буде розміщений в центрі, після чого роздаватиме трафік Triple Play (Голос/VoIP, Мультимедіа/Цифрове платне ТБ та Дані/Інтернет) тільки по медіа одножильного оптичного кабелю на стороні абонента. [10]

GPON використовує TDMA як висхідний метод множинного доступу зі швидкістю передачі даних 1,2 Гбіт/с і використовує низхідні ширококомвні передачі зі швидкістю передачі даних 2,5 Гбіт/с. Модель пакування даних використовує GEM (метод інкапсуляції GPON) або комірки АТМ для передачі TDM та послуг на основі пакетів. Таким чином, GPON має кращу ефективність використання смуги пропускання ніж BPON (70%), що становить 93%.

1.3. CWDM (грубий мультиплексор із поділом по довжині хвилі)

Wavelength Options Coarse (WDM), одне з рішень наступного покоління, крім того, потребує від мереж можливостей збільшення пропускної здатності з низькою вартістю, доступною в WDM. Інтервал довжини хвилі понад 20 нм зазвичай називається грубим WDM (CWDM). Оптичні інтерфейси, які були стандартизовані для CWDM, можна знайти в ITU G.695, у той же час, коли спектральна сітка для CWDM визначена в ITU G.694.2. Якщо включний діапазон довжин хвиль від 1271 нм до 1611 нм, як визначено в ITU G.694.2, використовується з інтервалом 20 нм, то доступними будуть загалом 18 каналів CWDM, як показано на рисунку 1.2. [7,8]

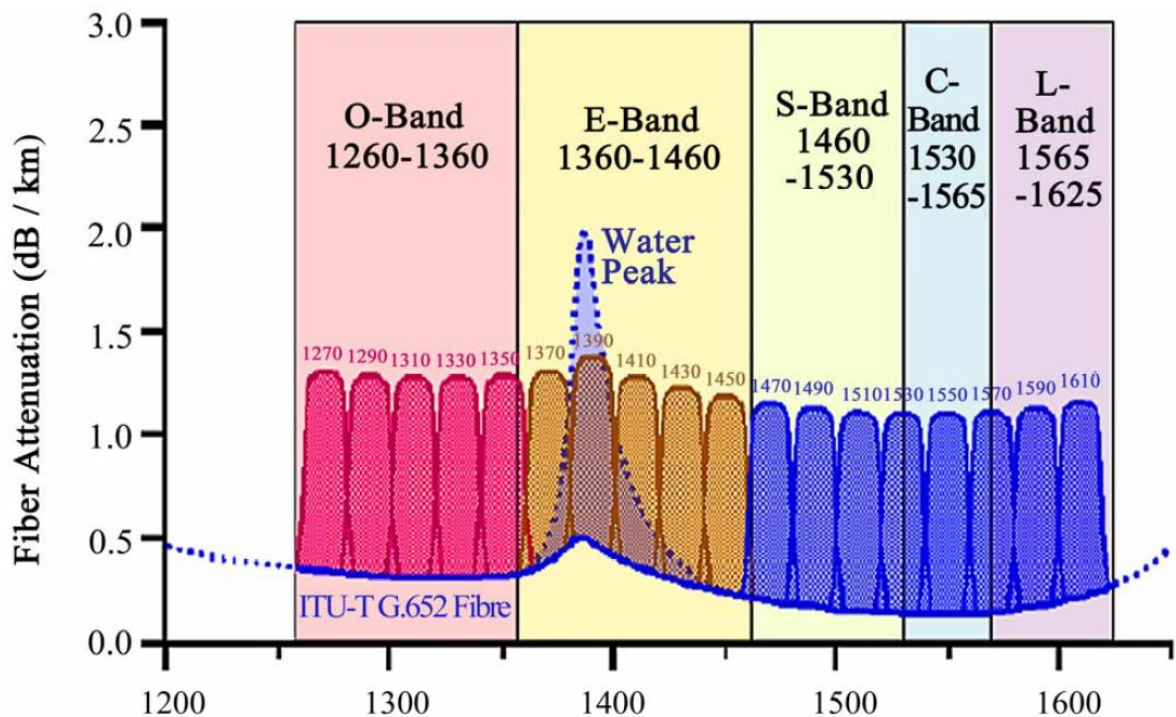


Рисунок 1.2. Метро CWDM сітка довжин хвиль згідно з ITU-T G.694.2.

CWDM - це мультиплексор з розрідженим поділом по довжині хвилі, також відомий як мультиплексор з грубим поділом по довжині хвилі. Устаткування CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplexing) розрідженого спектрального ущільнення каналів, згідно з рекомендацією ITU-T G.694.2, дозволяє організувати до 18 дуплексних каналів передачі даних при використанні двох оптичних волокон або до 9 дуплексних каналів при використанні одного волокна. Відповідно до стандарту G.694.2 для передачі сигналів по одному волокну або парі волокон використовується 18 несучих у діапазоні 1270 – 1610 нм з кроком 20 нм.

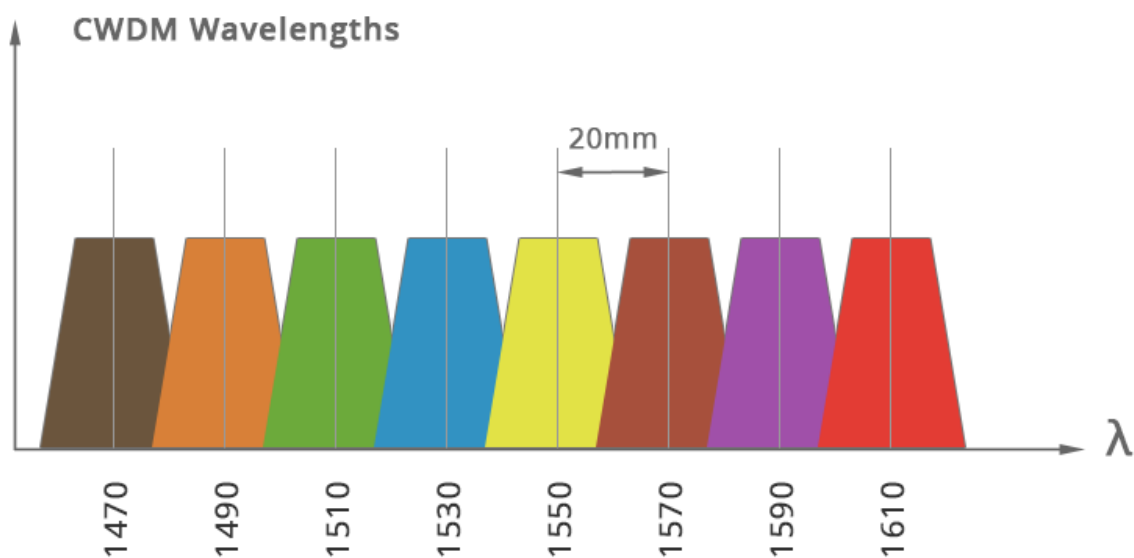


Рис. 1.3. Розподіл довжин хвиль CWDM

CWDM підтримує менше каналів, ніж DWDM, оскільки він компактний та економічний, що робить його ідеальним рішенням для зв'язку на короткі відстані. Найбільшою перевагою системи CWDM є низька вартість. Вартість пристрою в основному відбивається на фільтрах та лазерах. Широкий інтервал довжин хвиль 20 нм також дає CWDM переваги низьких вимог до технічних показників лазера та спрощеної конструкції оптичного мультиплексора/ демультиплексора. Структура спрощується, а вихід покращується, тож вартість знижується. [9]

1.4. Збільшення зони охоплення мультисервісних мереж доступу

Інженерами компанії Telson були проведені ряд випробувань, як обладнання CWDM використовувалася система ущільнення виробництва Telson, як обладнання GEAPON використовувалося обладнання виробництва Raisecom. В результаті випробувань було встановлено, що часткове перетин частотних діапазонів сигналів CWDM і GEAPON (рис. 1.4.) дозволяє передавати їх в одному волокні.

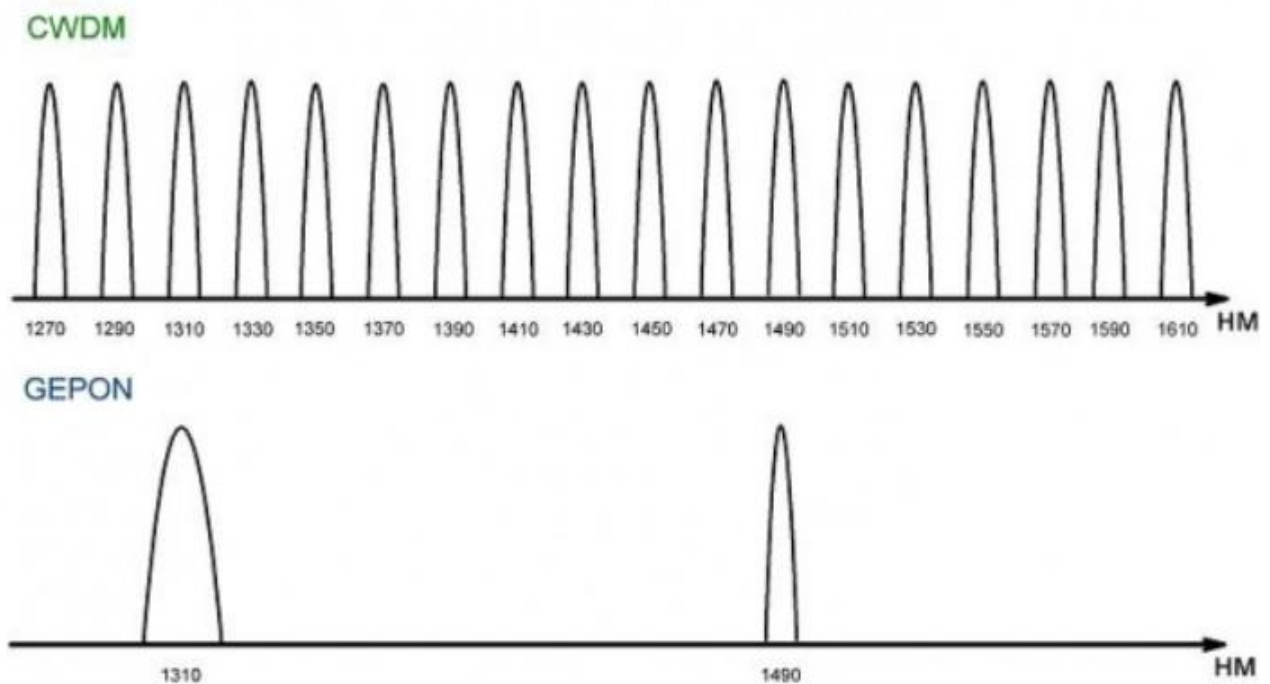
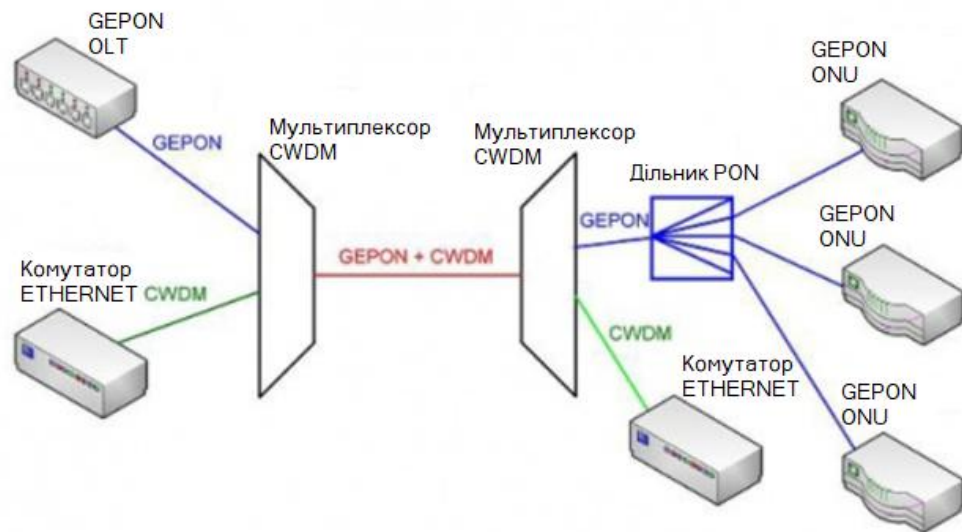


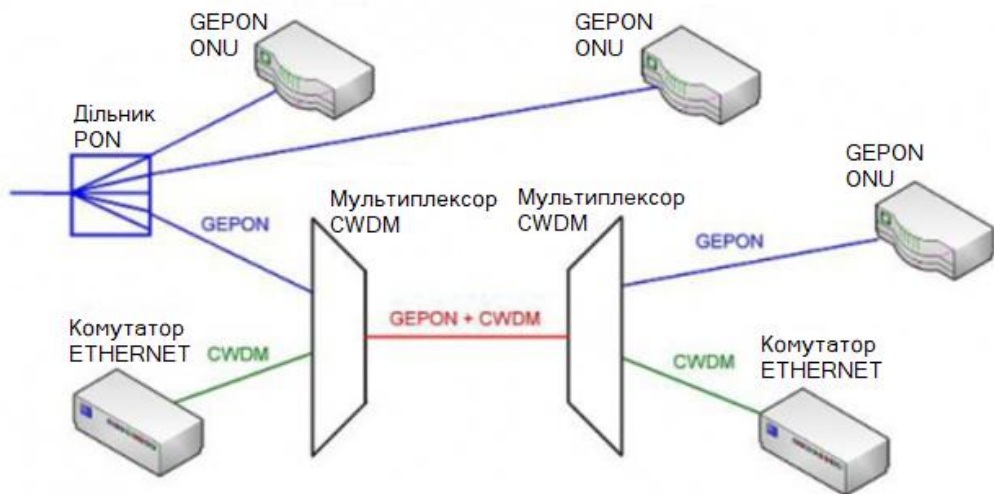
Рис. 1.4. Перетин частотних діапазонів сигналів CWDM і GEAPON

Враховуючи особливості оптичних передавачів, які застосовуються при створенні абонентських пристроїв GEAPON ONU та станційних пристроїв GEAPON OLT, а саме ширину спектра оптичного сигналу та коефіцієнт придушення бічної моди, а також частотні характеристики мультиплексорів/демультиплексорів CWDM, у таких системах можна використовувати наступні 14 довжин хвиль CWDM: 1270, 1350, 1370, 1390, 1410, 1430, 1450, 1470, 1510, 1530, 1550, 1570, 1590, 1610 нм. Таким чином, в одному оптичному волокні можна передавати сигнали від обладнання GEAPON до 7 дуплексних каналів за технологією CWDM. [8-9]

Організація зв'язку в комбінованих CWDM+GEPON системах здійснюється шляхом включення обладнання GEPON у порти мультиплексорів CWDM Express (рис. 1.5.).



а) Між портом обладнання GEPON (OLT або ONU) та дільником



б) Між дільниками

Рис. 1.5. Організація зв'язку в комбінованих CWDM+GEPON системах.

Мультиплексори CWDM розташовуються на схемі між портом обладнання GEPON (OLT або ONU) та дільником (рис.1.5.(а)), або між дільниками (рис.1.5.(б)).

Можливе розміщення мультиплексорів CWDM таким чином, щоб між ними був дільник, але у зв'язку з тим, що оптичні приймачі абонентських терміналів OLT – широкосмугові, слід застосовувати спеціальні смугові фільтри для підключення OLT до

даного дільника. Ці фільтри виключають вплив сигналів від CWDM трансіверів на оптичний приймач ONU.

Нетипова топологія для мережі метрополітену CWDM показана на рисунку 1.6. Пасивна оптична мережа використовує один спліттер 2:2 і чотири спліттери 1:16. Мережа метро підключена через центральний офіс (CO) за допомогою PON. З іншого боку, CO складається з передавача та приймача, кожен з яких має чотири лазери. Ці лазери мають різні довжини хвилі: 1490 нм (λ_1), 1510 нм (λ_2), 1530 нм (λ_3), 1550 нм (λ_4) відповідно для висхідної передачі. Приймачі складаються з чотирьох довжин хвиль: 1290(λ_1) нм, 1310(λ_2) нм, 1330(λ_3) нм, 1350(λ_4) нм відповідно як низхідна передача. У цій архітектурі одномодове оптичне волокно (SMF) з'єднує CO та абонентський вузол. Пропонована відстань для наших оцінок становить 60 км. Чотири канали по 2,5 Гбіт/с мультимплексується за допомогою OLT для досягнення запропонованої пропускної здатності 10 Гбіт/с. Крім того, за допомогою нових механізмів необхідно перевірити дальність дії та вузький інтервал каналів.

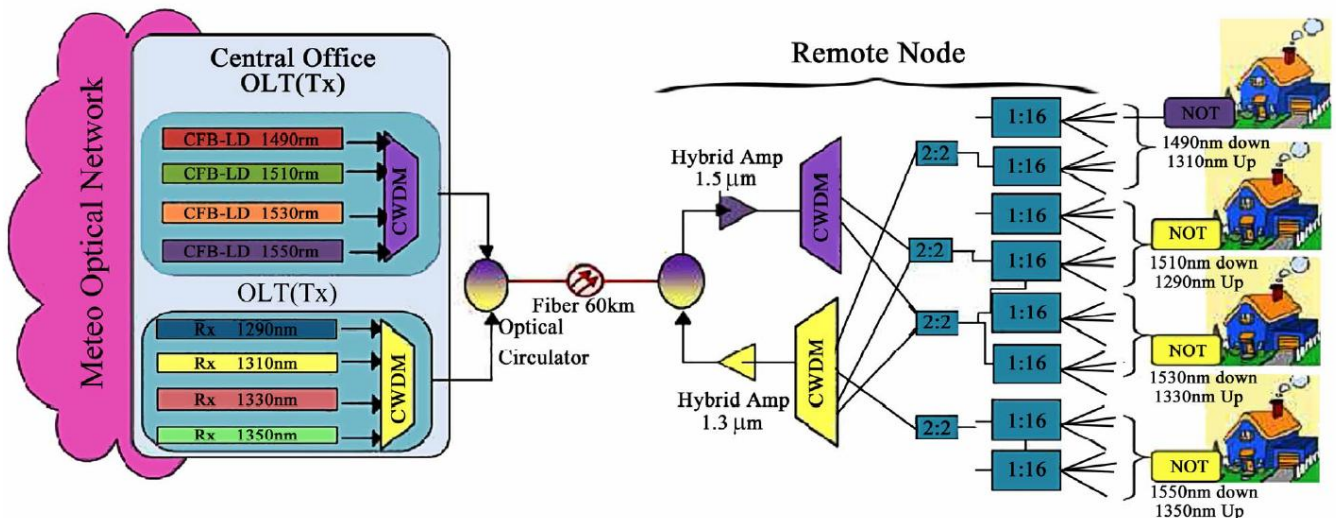


Рисунок 1.6. Модель архітектури мережі CWDM наступного покоління

Застосування комбінованих CWDM+GEPON систем на етапах створення або модернізації існуючих мереж GEPON дозволяють без прокладання додаткових волоконно-оптичних кабелів та використання додаткових волокон:

- Збільшити зону охоплення (до 500 км) та ємність існуючої GEPON мережі, шляхом встановлення віддалених пристроїв OLT та організації для них каналів Uplink

- Організувати виділені канали зв'язку, створити мережі відеоспостереження та СКУД

- Створити нові мережі зв'язку поверх існуючих мереж GEAPON, наприклад SDH, Ethernet, Fiber Channel.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1

У даному розділі було розглянуто приклад мережевої архітектури GEAPON, склад обладнання GEAPON, а також розглянуто CWDM - це мультиплексор з розрідженим поділом по довжині хвилі, також відомий як мультиплексор з грубим поділом по довжині хвилі. Було розглянуто збільшення зони охоплення мультисервісних мереж доступу, а саме GEAPON через часткове перетин частотних діапазонів сигналів CWDM і GEAPON, що дозволяє передавати їх в одному волокні. Таким чином, в одному оптичному волокні можна передавати сигнали від обладнання GEAPON до 7 дуплексних каналів за технологією CWDM. Також була розглянута організація зв'язку в комбінованих CWDM+GEAPON системах. Застосування комбінованих CWDM+GEAPON систем на етапах створення або модернізації існуючих мереж GEAPON дозволяють без прокладання додаткових волоконно-оптичних кабелів та використання додаткових волокон отримати ряд переваг, основним з яких є збільшення зони покриття мережі доступу.

РОЗДІЛ 2

АРХІТЕКТУРИ НАКЛАДЕННЯ CWDM PON

2.1. Традиційна архітектура накладання CWDM PON

Традиційна архітектура накладання PON показана на рис. 2.1. Декілька PON використовують різні довжини хвиль CWDM для сигналів DS та US [11]. Таким чином, загальна ємність волокна фідера збільшується, що робить цю архітектуру дуже привабливою для розширення досяжності фідерного волокна. Оскільки вартість волоконно-оптичних установок збільшується зі збільшенням досяжності, спільне використання різних ODN в одному фідер є ефективним способом для мережевих операторів знизити витрати [11].

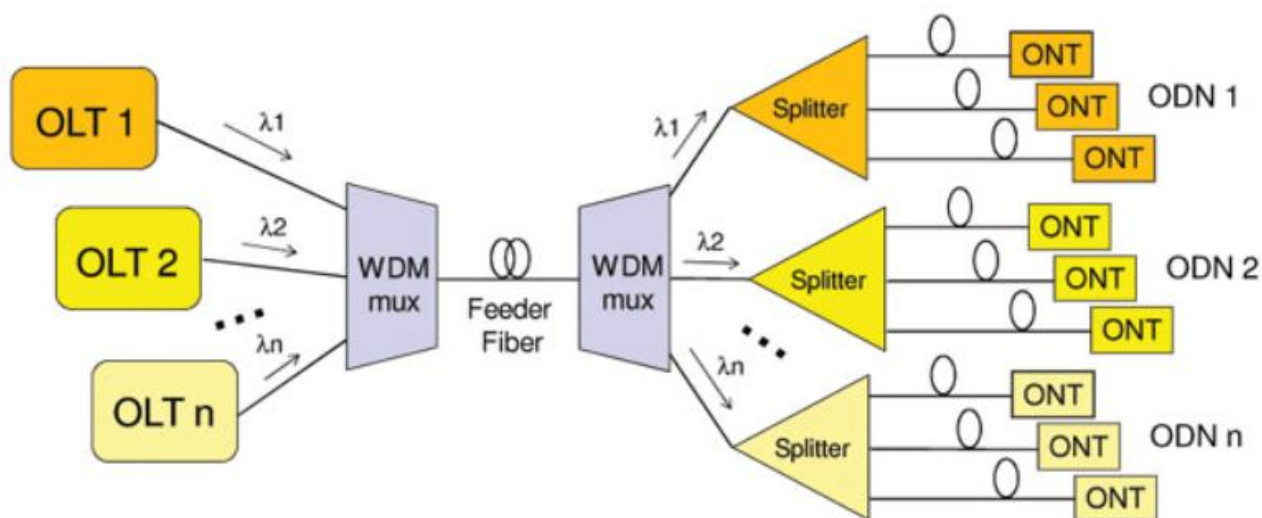


Рис. 2.1. Загальна діаграма накладання CWDM PON.

На рис. 2.2. показано оптичну сітку CWDM [12], доступну для роботи з накладанням PON. Спектри, зарезервовані для систем GPON [10], XGPON [13] та систем Video Overlay [14], також показано на цьому малюнку. Ці системи будуть співіснувати в одній і тій же імплантованій оптичній мережі, створивши, перше стандартизоване накладання PON. Необхідно звернути увагу, що в демонстрації накладання CWDM PON, описаної в [6], довжини хвиль DS становлять 1430 нм, 1450 нм, 1470 нм

та 1490 нм (див. рис. 2.2). У демонстрації, описаної в [8], довжини хвиль DS становлять 1531 нм, 1551 нм, 1571 нм, 1591 та 1611 нм. Жодна з цих демонстрацій не включає сітку US каналів.

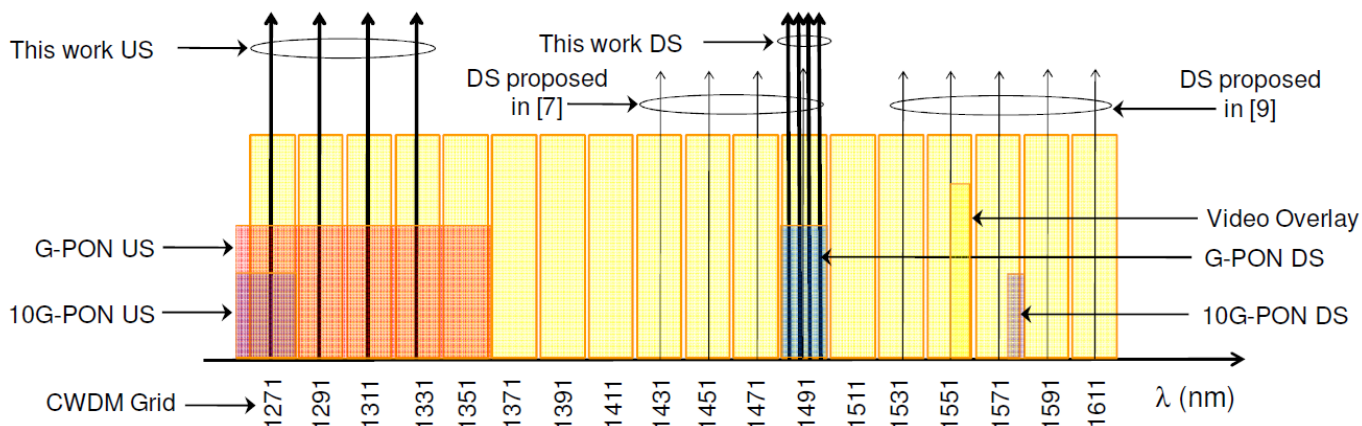


Рис. 2.2. Доступна сітка спектру для накладання WDM PON

2.2. Внутрішньосмугова архітектура накладання WDM PON 22

Пропонована внутрішньосмугова архітектура накладання WDM PON показана на рис. 2.3. Основна концепція полягає в тому, щоб збільшити кількість ODN, що живляться лише одним волокном. У цій архітектурі PON використовуються чотири довжини хвилі S-діапазону, що передаються від OLT до чотирьох різних ODN. Також використовуються вибрані комерційні лазери з розподіленим зворотним зв'язком (DFB), які працюють у стандартному діапазоні спектру PON DS (від 1480 до 1500 нм). Довжини хвиль низхідного потоку становлять 1482, 1487, 1492 та 1497 нм (Рис. 3.2.). Відстань між довжинами хвиль 5 нм дозволяє відповідати сітці вибраних комерційних мультиплексорів WDM S-діапазону (mux), що використовуються в раманівських підсилювачах. [5]

В OLT чотири канали S-діапазону мультиплексуються у фідерному волокні за допомогою одного мультиплексора S-діапазону і одного фільтра введення/виводу CWDM 1x2 1490 нм. Той самий фільтр введення-виведення з'єднує висхідні канали з одним демультимплексором (demux) CWDM 1x4 O-діапазону, за яким йдуть оптичні приймачі OLT.

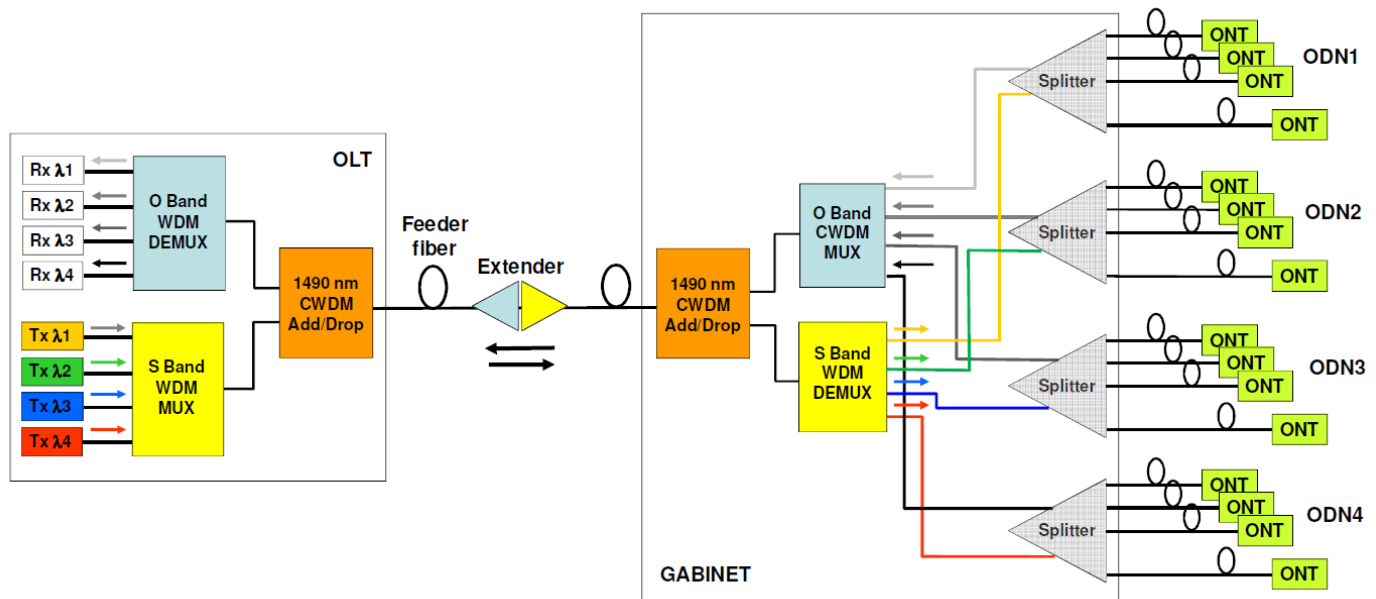


Рис. 2.3. Пропонована архітектура накладання WDM PON з використанням стандартизованих діапазонів приймачів.

На дальньому кінці волокна фідера низхідні і висхідні канали знову маршрутизуються іншим фільтром вводу/виводу CWDM 1x2 1490 нм. Низхідні канали вставляються в чотири ODN за допомогою одного демультимплексора S-діапазону. Необхідно звернути увагу на те, що кожен ODN містить один розгалужувач 2xN.

Всі передавачі ONT, що належать цьому ODN, відправляють висхідні сигнали, використовуючи певний канал CWDM. Довжини хвиль для чотирьох OLT знаходяться в діапазоні від 1270 до 1330 нм (Рис. 2.2.). Ці довжини хвиль були обрані з таких причин:

- вони перебувають у межах стандартизованого спектра приймача OLT;
- це канали CWDM, стандартизовані ITU-T [12];
- вони вже використовувалися у розгорнутих PON [5], а також дозволяють розширювати PON за рахунок використання **напівпровідникових оптичних підсилювачів (SOA)** з посиленням спектра, узгодженим із цими довжинами хвиль [14].

Східні канали після проходження через спліттери мультимплексуються за допомогою одного CWDM-мультимплексора 1x4 O-діапазону і з'єднуються у фідерному волокні за допомогою фільтру введення/виводу CWDM 1x2 1490 нм. Мультимплексор

CWDM діапазону 1x4 O може бути замінений одним розгалужувачем 1x4, якщо його втрати можуть бути поглинені бюджетом потужності каналу.

В OLT інший фільтр введення/виводу CWDM 1x2 1490 нм направляє висхідні сигнали на демультиплексор CWDM 1x4 O-діапазону і, нарешті, оптичні приймачі. Подовжувач PON, що базується на використанні SOA, також використовувався до ODN. [6]

2.3. Модернізація мережі PON

Внутрішньосмугова архітектура накладання WDM PON, показана на рис. 2.3. вперше була реалізована без подовжувача PON. Довжина волокна фідера становить 20 км зі стандартного одномодового волокна. Робочі характеристики каналів OLT і ONT оцінювалися за коефіцієнтом бітових помилок (BER) при швидкості передачі 2,5 Гбіт/с та псевдовипадковій двійковій послідовності (PRBS) довжиною, що дорівнює $2^{23} - 1$.

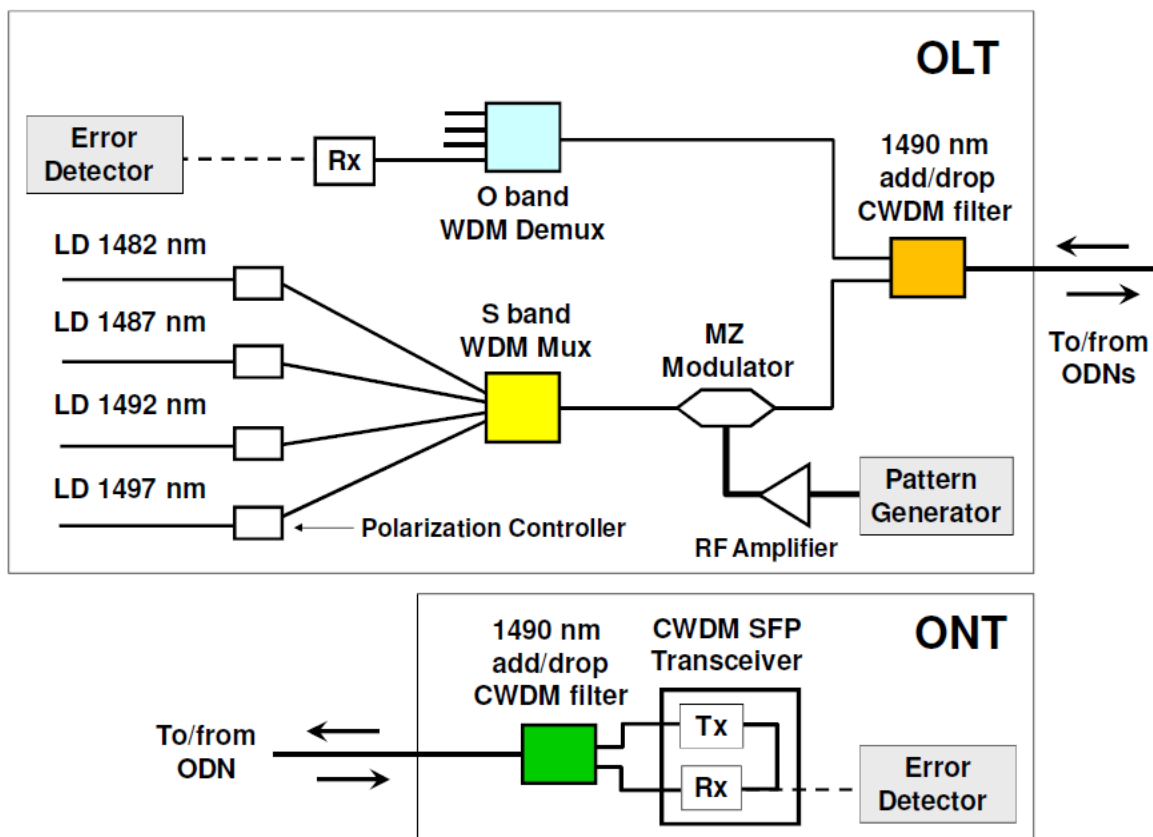


Рис. 2.4. Схеми OLT та ONT

На рис. 2.4. показані схеми OLT і ONT, де OLT чотири DFB-лазера S-діапазону, що працюють в безперервному режимі (CW), подають свої сигнали в один модулятор Mach-Zender (MZ) LiNbO₃ за допомогою мультиплектора S-діапазону. Контролери поляризації використовуються для правильної поляризації сигналів на вході модулятора. Електричний сигнал генератора шаблонів посилюється перед подачею модулятора MZ.

Кожне ONT використовує комерційні приймачі CWDM з малими формами (SFP) і один фільтр введення/виводу CWDM 1x2 1490 нм для з'єднання низхідного каналу в приймачі і висхідного каналу в розгалужувачі 2x32. У приймачах ONT та OLT використовуються детектори APD (лавинний фотодіод) із середньою чутливістю -31 дБм (ONT) та середньою чутливістю -33,5 дБм (OLT). Середня оптична потужність, що передається кожним лазером у діапазоні S, становить 1,3 дБм та 0 дБм для діапазону CWDM O.

На рис. 2.5. показані загальні внесені втрати/ізоляція (а) демультимплектора S-діапазону, (b) 1490 вводів/виводів CWDM та (c) демультимплектора O-діапазону. Максимальні втрати для мультиплекторів/демультимплекторів складають: мультиплектор/демультимплектор WDM діапазону S = 1,6 дБ, мультиплектор/демультимплектор WDM діапазону O = 1,8 дБ, фільтр введення/виводу CWDM 1490 нм = 3,8 дБ. Згасання у волокні в діапазоні O коливається від 0,39 дБ/км на 1270 нм до 0,31 дБ/км на 1330 нм. У діапазоні S середнє загасання у волокні становить 0,22 дБ/км.

На рис. 2.6. (а) показано оцінку продуктивності BER для каналів S-діапазону і на рис. 2.6. (b) показані канали O-діапазону, виміряні відповідно ONT і OLT з волокном і без нього (BTV). Погіршення потужності дорівнює нулю при BER = 1×10^{-12} для низхідних каналів і становить близько 2 дБ для висхідних каналів. Зниження потужності висхідних каналів повністю компенсується оптичним бюджетом системи. Запас для низхідного та висхідного каналів становить 2 дБ при BER = 1×10^{-12} . На рис. 2.7. показаний спектр OLT передаються низхідних і прийнятих висхідних каналів.

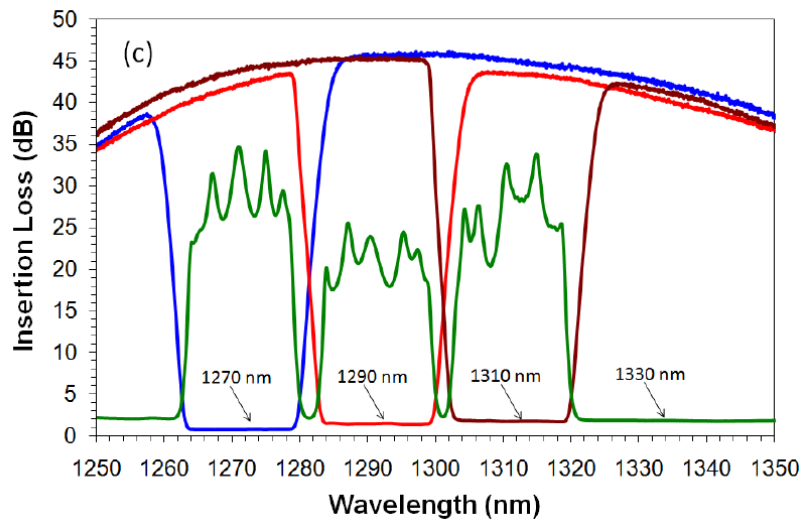
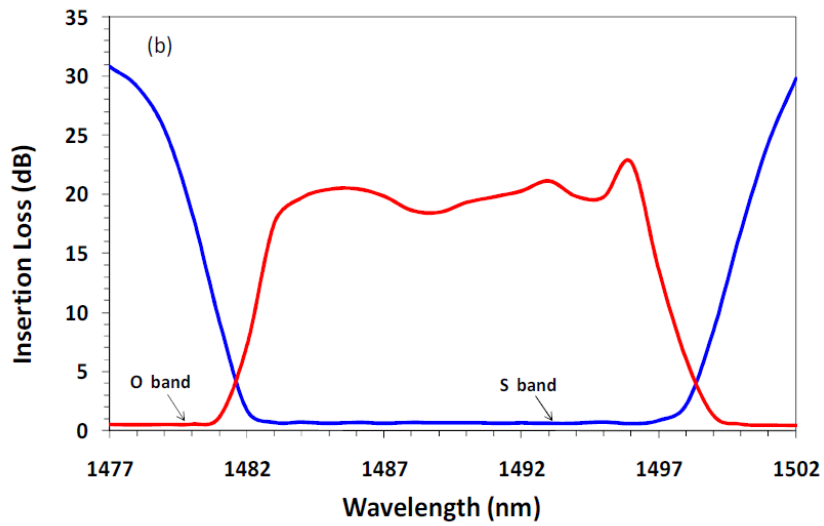
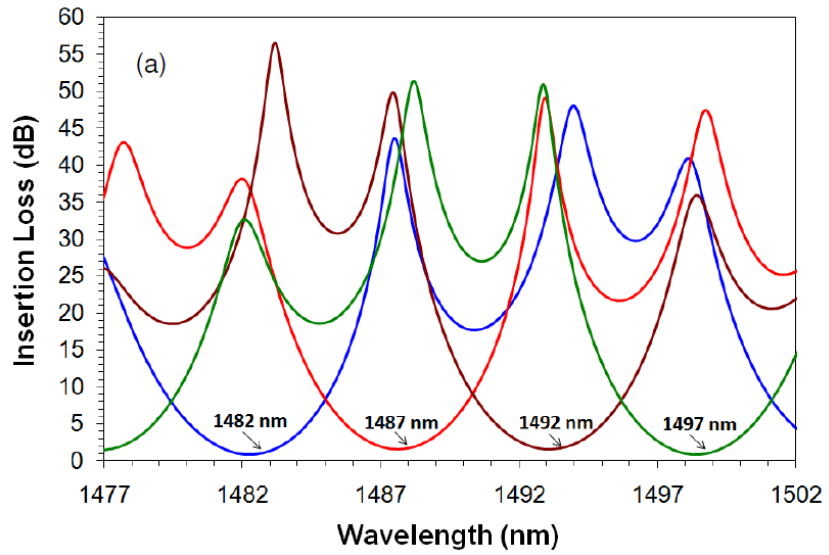


Рис. 2.5. Втрати/ізоляція мультиплексора для (а) діапазону S , (б) 1490 введення/виведення CWDM та (в) діапазону O.

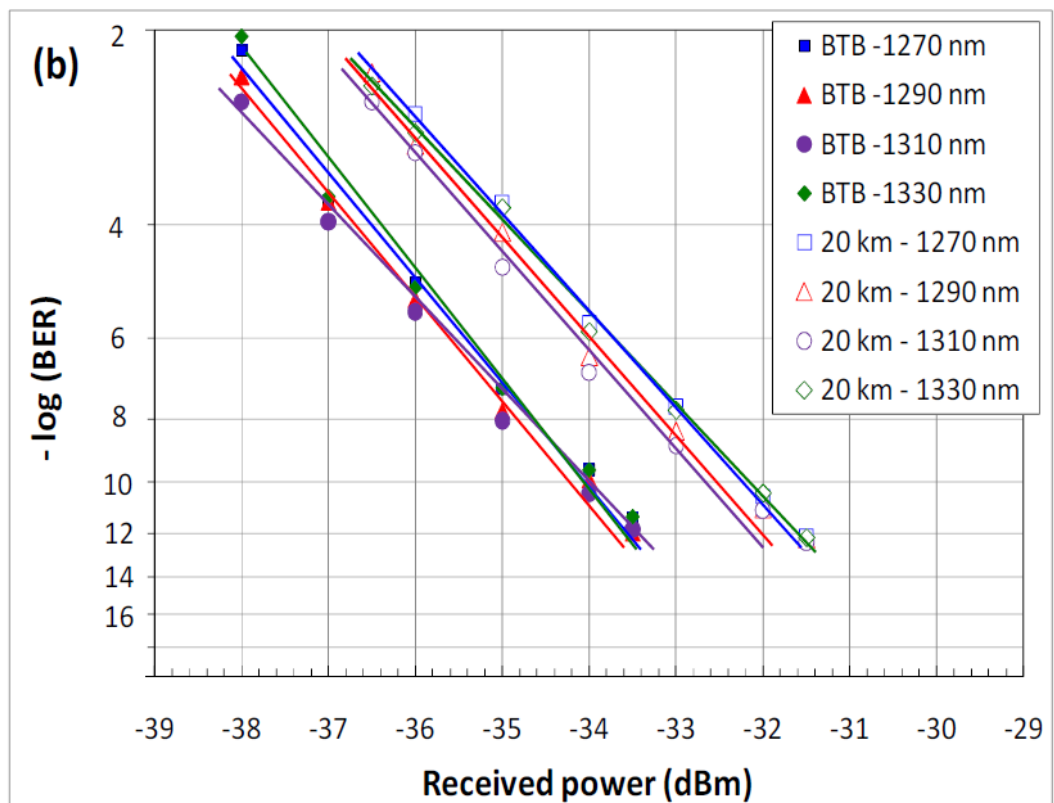
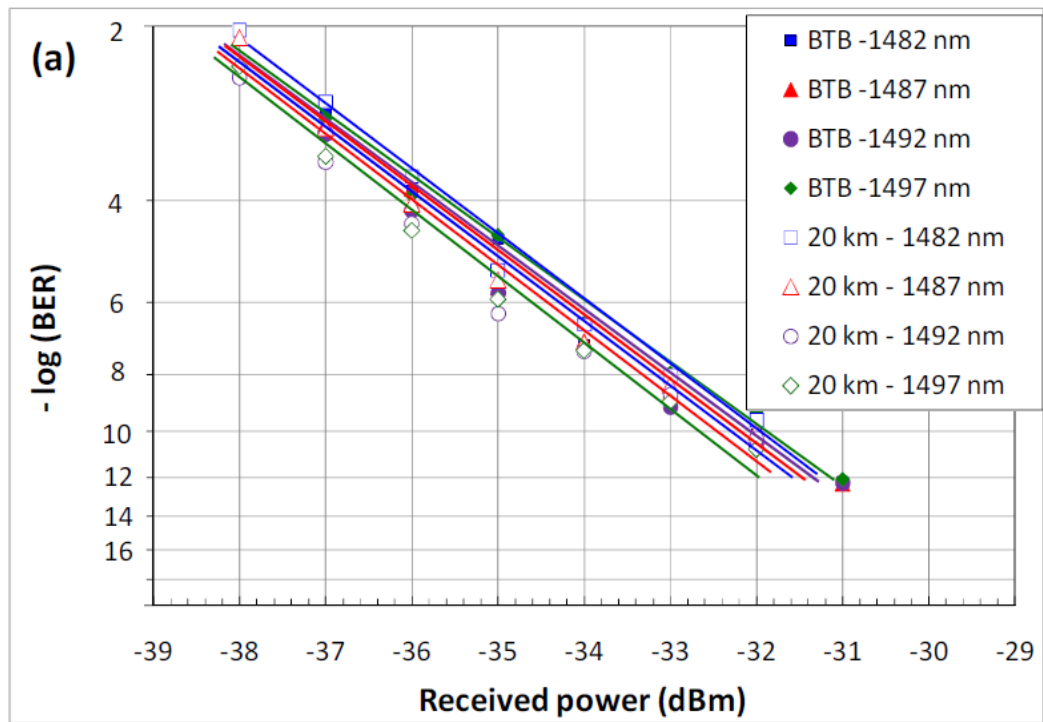


Рис. 2.6. Оцінка характеристик BER для (а) низхідних каналів S-діапазону, виміряних ONT, і (б) висхідних каналів O-діапазону, виміряних в OLT.

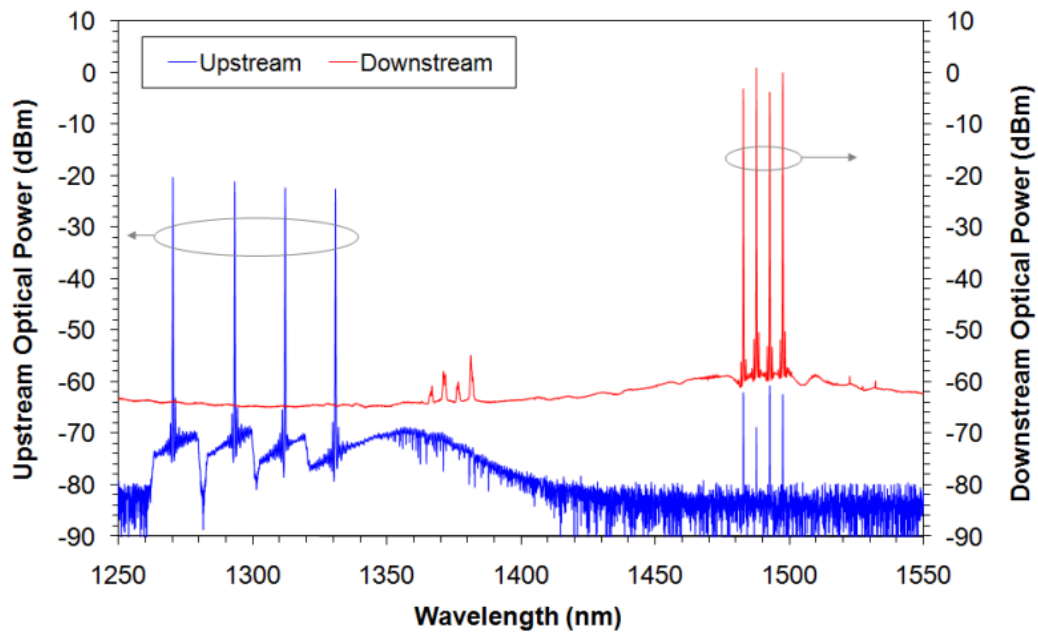


Рис. 2.7. Оптичний спектр низхідного та висхідного сигналів в OLT для PON з радіусом дії 20 км.

2.4. Модернізація та розширення мережі

Щоб перевірити збільшення охоплення внутрішньосмугової архітектури WDM PON, використовується розширювач PON на основі SOA. Двонаправлена схема SOA представлена на рис. 2.8. Вона використовує з'єднувальний елемент 1310/1490 нм для з'єднання входу та виходу двох комерційних SOA, одного спектрального діапазону 1310 нм, а іншого для спектрального діапазону 1490 нм. На рис. 2.3. показано положення подовжувача в оптоволокну, тобто через 50 км. від OLT. Після подовжувачем PON прокладено оптоволокну довжиною 8 км. Ці два оптоволоконні з'єднання мають таке ж згасання, як і раніше описане 20-кілометрове з'єднання. [14]

Типовими характеристиками ПОУ є: посилення сигналу з втратами більше 15 дБ на довжинах хвиль 1490 нм і 1310 нм, робочий струм 200 мА та поляризаційна чутливість краще за 1,5 дБ. На вході SOA 1490 нм використовується оптичний атенюатор, щоб уникнути погіршення BER, спричиненого перехресною модуляцією посилення в нелінійному режимі. На рис. 2.9. показаний спектр вихідних сигналів розширювача PON відповідно до його положення, представленого на рис. 2.1. Зверніть

увагу, що ширина смуги посилення становить 15 нм у діапазоні S та 60 нм у діапазоні O.

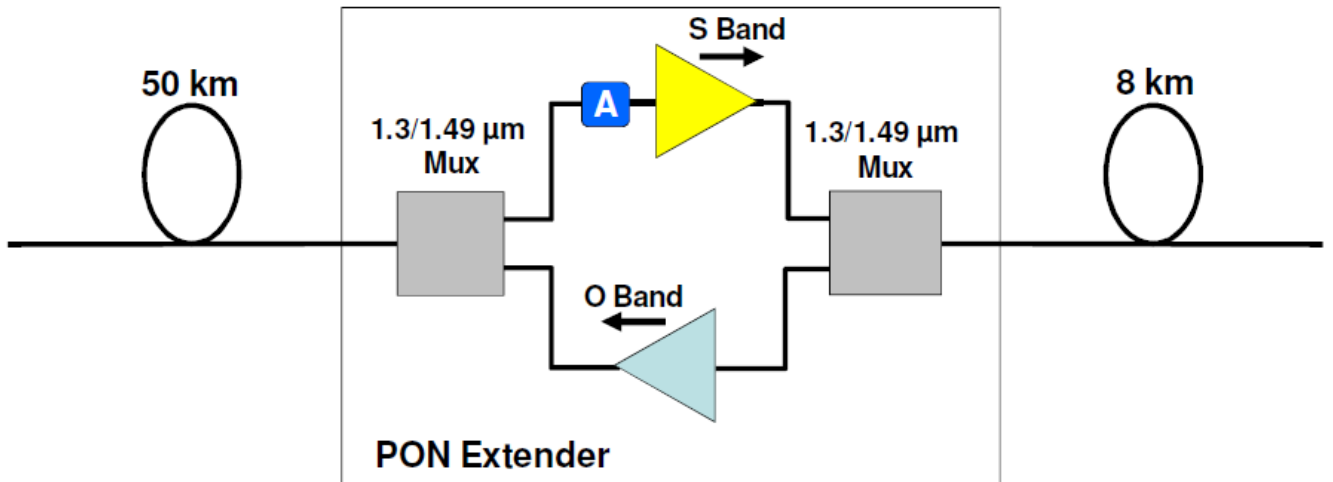


Рис. 2.8. Схема двонаправленого подовжувача PON.

У положенні, коли використовується подовжувач, середня вхідна потужність каналу для каналів S-діапазону становить приблизно -13,5 дБм (-23,5 дБм після атенюатора), а посилення становить 13,5 дБ (1482 нм), 13,8 дБ (1487 нм), 13,1 дБм . дБ (1492 нм) та 12,8 дБ (1497 нм). Коефіцієнти посилення для каналів діапазону O складають (середня вхідна потужність на канал \approx -24 дБм): 11,9 дБ (1270 нм), 17,4 дБ (1290 нм), 16,8 дБ (1310 нм) та 14,1 дБ (1330 Нм).

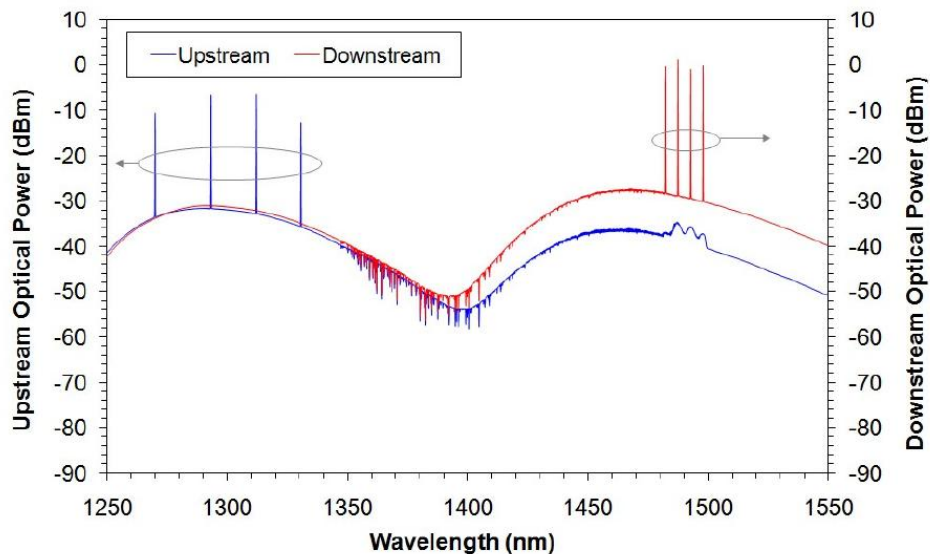


Рис. 2.9. Оптичний спектр на виходах розширювача мережі (подовжувача) для низхідного та висхідного каналів.

На рис. 2.10 (а) показано оцінку продуктивності BER для S-діапазону і на рис. 2.10 (b) показана оцінка продуктивності BER для каналів O-діапазону, виміряна в ONT та OLT, відповідно, порівняно з вимірюваннями ВТВ. Погіршення потужності становить близько 7 дБ при $BER = 1 \times 10^{-12}$ для каналів S-діапазону і близько 4 дБ для O-діапазону. Ці штрафи пов'язані з процесом биття сигналу ASE (посилена спонтанна емісія) в оптичних приймачах.

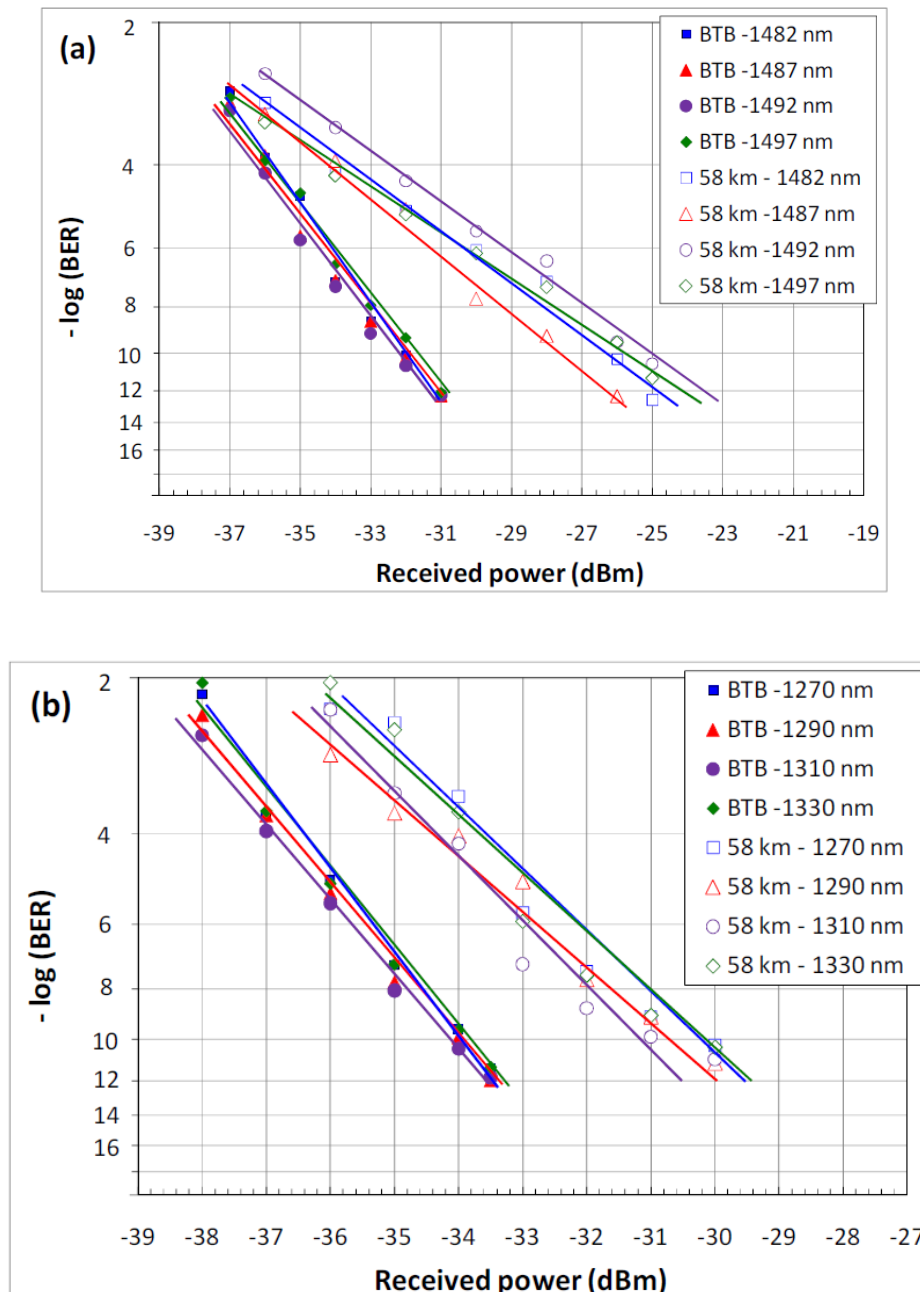


Рис. 2.10. Розширена оцінка продуктивності PON BER для (а) низхідних каналів S-діапазону, виміряна в ONT і (b) висхідних каналів O-діапазону, виміряних в OLT.

Були проведені перевірки характеристик приймача ONT через можливу теплову зміну довжини хвилі лазерів S-діапазону. Оскільки смуга передачі мультиплектора/ демультиплектора S-діапазону не є плоскою (див. 2.5. (а)), спектральні варіації лазерів S-діапазону можуть погіршити BER ONT. На рис. 2.11. показані характеристики BER та прийнятої потужності одного каналу S-діапазону (1492 нм), виміряні в приймачі ONT, коли довжина хвилі лазера термічно змінюється на +/- 2,5 нм. Помічено, що продуктивність BER не змінюється для +/-0,75 нм, оскільки оптична потужність, що приймається, не змінюється в цьому діапазоні. Ця конкретна точка вимірювання була обрана для демонстрації проблем, пов'язаних зі смугою пропускання каналу. [10]

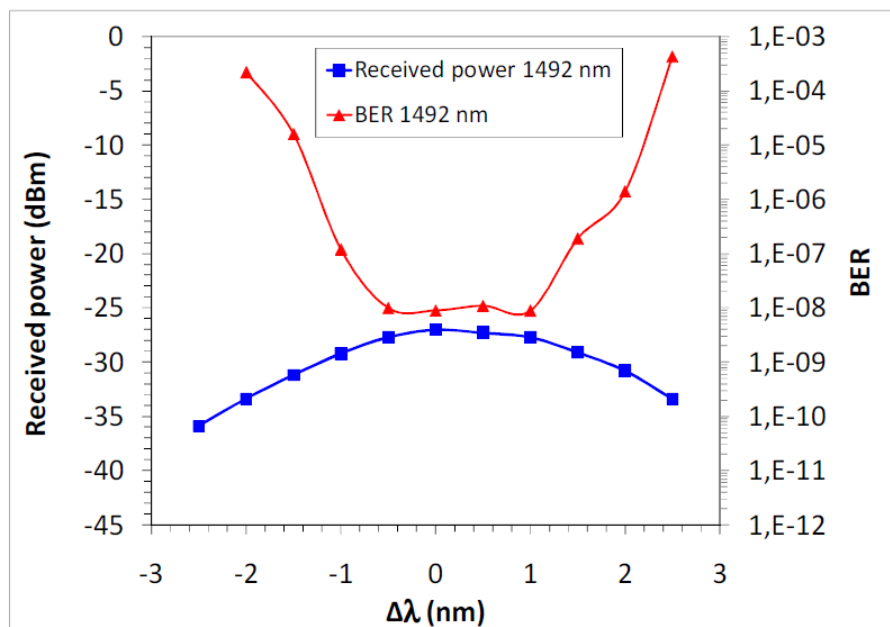


Рис. 2.11. BER і характеристика потужності одного каналу S-діапазону (1492 нм), виміряні в приймачі ONT при зміні довжини хвилі лазера на +/- 2,5 нм.

Згідно з цією оцінкою, максимальна робоча температура лазерів S-діапазону в цій пропонованій системі без погіршення BER становить 35 °C з огляду на те, що лазери DFB змінюють свою довжину хвилі на 0,075 нм/°C. Мультиплектори та демультиплектори S-діапазону, що використовують технологію діелектричних фільтрів, можуть розширити діапазон робочих температур, оскільки вони мають плоску смугу

пропускання, проте в даний час вони недоступні у S-діапазоні з рознесенням довжин хвиль 5 нм.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2

У цьому розділі представлена пропозиція щодо модернізації та розширення існуючої мережі PON за рахунок використання WDM у стандартній оптичній мережі GPON або GEPON. Ціль полягає в тому, щоб збільшити кількість оптичних розподільчих мереж з живленням від одного волокна, зберігаючи при цьому пропускну здатність користувачів. Канали з чотирма довжинами хвиль передаються від OLT до чотирьох різних ODN з використанням стандартизованого приймача ONT в діапазоні від 1480 до 1500 нм. Східні канали від чотирьох різних ODN також мультиплексується по довжинах хвиль із використанням стандартизованого діапазону частот приймача OLT в діапазоні від 1270 до 1330 нм. Було описано топологію мережі та представлено експериментальне підтвердження концепції. Хороша характеристика коефіцієнта бітових помилок, подана пропозицією, показала його здійсненність.

Мета полягає в тому, щоб збільшити кількість оптичних розподільчих мереж (ODN), що живляються одним волокном, при збереженні пропускну здатності користувачів. У цьому підході сигнали з чотирма довжинами хвиль у низхідному напрямку (DS) передаються від терміналу оптичної лінії (OLT) до чотирьох різних ODN з використанням стандартного спектра DS PON в діапазоні від 1480 до 1500 нм. Висхідні (US) сигнали від чотирьох різних ODN також мультиплексується по довжинах хвиль стандартного спектру US PON в діапазоні від 1270 до 1330 нм.

РОЗДІЛ 3

ПРОЕКТУВАННЯ МЕРЕЖІ CWDM-GERON

3.1. Переваги CWDM системи перед іншими системами

- Економія оптичного волокна - CWDM система дозволяє передавати по одному волокну до 8 каналів із пропускною здатністю до 2,5 Gb / s на канал;
- Незалежність від електроживлення – живлення необхідне лише для активного обладнання;
- Відсутність проблем «падіння», перезавантажень та ін. - CWDM система є пасивною;
- Відсутність необхідності організації постійного доступу до місць розміщення елементів CWDM системи - існують OADM модулі у виконанні для розміщення оптичних муфтах;
- Зниження рівня впливу «людського фактора» - відсутність активних компонентів, що потребують налаштування, керування тощо;
- Значне зниження вартості володіння – зниження рівня експлуатаційних витрат;
- Відносно невисока вартість — питома ціна одного каналу CWDM системі нижча, ніж у рішенні на активному устаткуванні; можливість відмовитися від устаткування рівня агрегації;
- Максимальна дальність роботи CWDM системи складає 80 та більше кілометрів;
- Незалежність від клієнтських протоколів - передача до 16 незалежних сервісів по двох парах оптичних волокон; прозорість всім протоколів передачі;
- Наявність різних видів обладнання для монтажу в різних умовах: стійку, муфту, на стіну.

3.2. Розрахунок параметрів оптичного волокна

На даній ділянці ВОЛЗ застосовується 4-волоконний кабель фірми SIECOR з одномодовими волокнами та ступінчастою дисперсією марки A-DF(ZN)2Y3X4E9/125 0.38F3.5+0.22H18 зі швидкістю передачі інформації 2488,320 Мбіт/с, що працює на довжині хвилі $\lambda = 1550$ нм. Розподіл волокон наступне:

- волокна використовують для передачі CWDM за схемою 1+1 (резерв);
- волокна є «холодним» резервом;
- волокна використовуються передачі оптичного сигналу FTTH GPON.

Сердечник волоконно-оптичного кабелю (ВОК) з вищим коефіцієнтом заломлення в порівнянні з оболонкою, складається з SiO_2 (двоокис кремнію) з добавкою GeO_2 (двоокис германію).

Кабель A-DF(ZN)2Y3X4E9/125 0.38F3.5 + 0.22H18 представлений на рисунку 3.1.

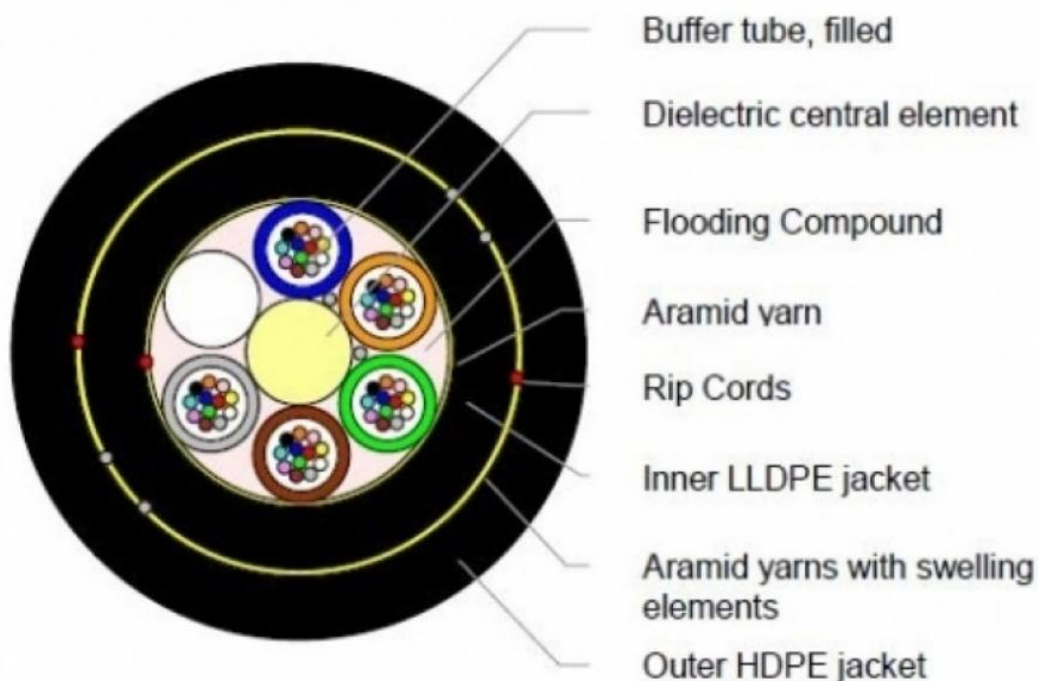


Рисунок. 3.1. Поперечний переріз кабелю, що застосовується.

Матеріал для покриття волокна SiO_2 (двоокису кремнію). Основне покриття - епоксакрелат. Він застосовується у двох шарах різних модулів. Внутрішній шар

трохи м'якший, ніж зовнішній. Це захищає скловолокно від втрат при мікрозгинах та від образивних зносів. Розміри основного покриття складає 250 ± 15 мкм. Основне покриття легко видаляється за допомогою механічних інструментів для зняття покриття. Не потрібно ніяких хімічних складів видалення покриття [6].

Характеристики кабелю:

- 1-12 одномодові волокна;
- робоча довжина хвилі 1550 нм;
- неметалевий центральний елемент;
- оптичні модулі зі скруткою типу SZ;
- порожнечі та оптичні модулі заповнені гідрофобним матеріалом;
- зовнішня оболонка з поліетилену;
- кабель повністю діелектричний;
- придатний для прокладання кабельної каналізації.

Таблиця 3.1

Оптичні характеристики кабелю типу A-DF(ZN)2Y3X4E9/125 0.38F3.5 + 0.22H18

| Характеристики | Значення |
|---|---------------------------------------|
| Діаметр плями модового поля (1550 нм) | 10,5 мкм +/-1,5 мкм |
| Діаметр волокна з покриттям | 125 мкм +/-2 мкм |
| Похибка концентричності плями модового поля | <1 мкм |
| Некруглість покриття | <2% |
| Профіль коефіцієнта заломлення | N ₁ кроковий |
| Тип | N ₂ погоджувальне покриття |
| Показник заломлення серцевини для 1550нм | 1,4681 |
| Числова апертура | 0,13 |
| Критична довжина хвилі волоконного кабелю | < 1250 нм |

Контрольне випробування навантаження: 8N за 1 секунду; напруги: 1% опір розриву волокна, принаймні: 150 N/mm². Волокно розміщується в оптичному модулі, який називається буферною трубкою. У буфері можна розмістити одне або більше волокон; волокна вільно лежать у трубці, статистично у центрі труби. Завдяки скрутці

буфера наддовжина становить близько 0,3-0,5%. Це означає, що, якщо до кабелю застосовується зусилля, що розтягує, а звідси і до сердечника, відносно подовження в широкому діапазоні не вплине на волокна, і не буде спостерігатися збільшення згасання.

Таблиця 3.2.

Технічні характеристики кабелю типу A-DF(ZN)2Y3X4E9/125 0.38F3.5 + 0.22H18

| Характеристики | Значення | | |
|--|----------|----------|----------|
| | 2 - 30 | 32 - 48 | 50 - 96 |
| Число волокон | 2 - 30 | 32 - 48 | 50 - 96 |
| Діаметр приблизно (мм) | 10,3 | 12,3 | 13,8 |
| Вага , приблизно (кг / км) | 85 | 125 | 141 |
| Мінімальний радіус вигину, мм Під час монтажу | 300 | 350 | 400 |
| У встановленому вигляді | 200 | 250 | 300 |
| Діапазон температури при транспортуванні та зберіганні (°С) | -30...70 | -30...70 | -30...70 |
| Міцність на розтягування, Н Короткий термін (під час монтажу) | 2700 | 2700 | 2700 |
| Тривалий термін (змонтований) | 1300 | 1300 | 1300 |
| Напруга при стисканні/при роздавлюючій нарузі (повністю реверсивне збільшення згасання) (Н/10см) | 2000 | 2000 | 2000 |
| Опір удару (E = 3 Nm, r = 300 mm) (повністю реверсивне збільшення згасання) (імпульси) | 30 | 30 | 30 |
| Діапазон температури під час монтажу (°С) | -5...50 | -5...50 | -5...50 |

Метод буферної труби також застосовується у разі стиснення або розширення кабелю через перепади температур. Структура також хороша як захист проти поперечного стискування. Використовується SZ - скручування з чергуванням напрямку повива. При SZ скручуванні напрямок її змінюється через певну кількість витків, тому скручуються елементи описують вздовж осі кабелю спочатку форму S, а потім після

зміни напрямку форму Z . У точці зміни напрямку вони лежать паралельно до осі кабелю. Технічні характеристики кабелю наведено у таблиці 3.2.

3.3. Розрахунок оптичного волокна для обраного району

3.3.1 Розрахунок апертури

Найважливішим узагальненим параметром волоконного світловоду є апертура.

Апертура - це кут між оптичною віссю та однією з утворюючих світлового конуса, що потрапляє в торець волоконного світловоду, за якого виконується умова повного внутрішнього відбиття.

Розрахуємо показник заломлення оболонки n_2 виходячи з оптичних характеристик кабелю числа апертура $NA = 0,13$.

Відомо, що:

$$NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2},$$

де n_1 – показник заломлення сердцевини, 1,4681.

Тоді визначимо n_2 :

$$n_2 = \sqrt{n_1^2 - NA^2}; \quad (3.3)$$

$$n_2 = \sqrt{1,4681^2 - 0,13^2} = \sqrt{2,1553 - 0,0169} = 1,4623.$$

світловоду, що використовується для оцінки його властивостей, є нормована частота V .

$$V = \frac{2\pi a \sqrt{(n_1^2 - n_2^2)}}{\lambda}; \quad (3.4)$$

$$V = 2 \cdot 3,14 \cdot 4,5 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{0,13}{(1,55 \cdot 10^{-6})} = 2,3702.$$

де a – радіус сердцевини оболонки, $a = 4,5$ мкм;

n_1 – показник заломлення сердцевини, $n_1 = 1,4681$; n_2 – показник заломлення оболонки, $n_2 = 1,4623$.

Зробимо розрахунок параметрів кабелю, виходячи з того, що ми маємо одномодові волокна зі ступінчастим профілем показника заломлення з діаметром серцевини $2a = 9$ мкм і критичною довжиною хвилі $\lambda = 1250$ нм, діаметр поля моди $2\omega_0$ при довжині хвилі 1550 нм.

$$2\omega_0 \approx (2,6 \cdot \lambda / V_c \cdot \lambda_c) \cdot 2a, \quad (3.5)$$

де - робоча довжина хвилі, нм;

λ_c - критична довжина хвилі, вище якої у світловоді спрямовується лише основна мода;

V_c - нормальна критична частота, для одномодового режиму $V_c = 2,405$.

$$\lambda = 1550 \text{ нм: } 2\omega_0 \approx (2,6 \cdot \frac{1550}{2,405} \cdot 1250) \cdot 9 = 12 \text{ мкм.}$$

Це означає, що можна вибирати ОВ із діаметром серцевини до 12 мкм.

Враховуючи, що у світловоді кордоном розділу середовищ серцевина – оболонка є прозорі шибки, можливо, не тільки відображення оптичного променя, а й проникнення його в оболонку. Для запобігання переходу енергії в оболонку та випромінювання в навколишній простір необхідно дотримуватися умов повного внутрішнього відображення та апертури. Відомо, що при переході з середовища з більшою щільністю в середовище з меншою щільністю, тобто при $n_1 > n_2$ хвиля при певному вугіллі падіння повністю відбивається і не переходить в інше середовище. Кут падіння, починаючи з якого вся енергія відбивається від межі поділу середовищ, при $w_p = \theta_v$ називається кутом повного внутрішнього відображення:

$$\sin \theta = \frac{n_2}{n_1} \sqrt{\frac{m_2 e_2}{m_1 e_1}}, \quad (3.6)$$

де m та e - відповідно магнітна та діелектрична проникність сердечника (m_1 , e_1) та оболонки (m_2 , e_2).

При $w_p < \theta_v$ заломлений промінь проходить вздовж межі розділу «серцевина – оболонка» і не випромінюється в навколишній простір.

При $w_p > \theta_v$ енергія, що надійшла в сердечник, повністю відбивається і поширюється світловодом. Чим більший кут падіння хвилі, $w_p > \theta_v$ в межах від θ до 90 градусів, тим краще умови поширення і тим швидше хвиля прийде до приймального

кінця. У цьому випадку вся енергія концентрується в осерді світловода і практично не випромінюється в навколишнє середовище. При падінні променя під кутом, меншим за кут повного відображення, $w_p < \theta_v$, енергія проникає в оболонку, випромінюється в зовнішній простір і передача світловоду неефективна.

Режим повного внутрішнього відбиття визначає умову подачі світла на вхідний торець волоконного світловода. Світловод пропускає лише світло, укладене в межах тілесного кута θ_a , величина якого обумовлена кутом повного внутрішнього відображення θ_v . Цей тілесний кут θ_a характеризується числовий апертурою:

$$NA = \sin \theta_a = (n_1^2 - n_2^2)^{\frac{1}{2}} = (1,4681^2 - 1,4623^2)^{\frac{1}{2}} = 0,13.$$

Між кутами повного внутрішнього відображення θ і апертурним кутом падіння променя θ_a є взаємозв'язок. Чим більший кут θ , тим менше апертюра волокна θ_a . Слід прагне до того, щоб кут падіння променя на кордон сердечник - оболонка w_p був більший за кут повного внутрішнього відображення θ_v і знаходився в межах від θ_v до 90 градусів, а кут введення променя в торець світловода w укладався в апертурний кут θ_a ($w < \theta_a$).

Знайдемо критичний кут θ_c , за якого ще виконується умова повного внутрішнього відображення:

$$\theta_c = \sqrt{\left(1 - \frac{n_2}{n_1}\right)^2}; \quad (3.7)$$

$$\theta_c = \sqrt{\left(1 - \frac{1,4623}{1,4681}\right)^2} = 0,09 \text{ рад} \approx 16^\circ.$$

Знаючи показники заломлення оболонки n_2 і сердцевини n_1 розрахуємо відносну різницю показників заломлення Δ :

$$\Delta = \frac{n_1 - n_2}{n_1}; \quad (3.8)$$

$$\Delta = \frac{1,4681 - 1,4623}{1,4681} = 0,00395 \approx 0,395\%.$$

Розрахуємо SZ -структуру у ВОК:

Крок поля повного обороту на 360° називається кроком скручування S .

Кут між елементами, що звиваються, і поперечним перерізом кабелю називається кутом скрутки α . Відстань між віссю кабелю і серединою елемента, що звивається називається радіусом скрутки R .

Для даних видів кабелю крок скручування $S = 170$ мм і радіус скручування $R = 4,3$ мм, тоді додаткова довжина Z дорівнюватиме:

$$Z = \sqrt{1 + \left(\frac{2 \pi R}{S}\right)^2} \cdot 1 \cdot 100\%; \quad (3.9)$$

$$Z = \sqrt{1 + \left(\frac{2 \pi \cdot 4,3}{170}\right)^2} \cdot 1 \cdot 100\% \approx 1,25.$$

Тому на кожні сто метрів довжини кабелю елементи, що звиваються, довщі на 1,25 м.

Кут скручування дорівнює:

$$\alpha = \text{artag} \frac{S}{2 R \pi}; \quad (3.10)$$

$$\alpha = \text{artag} \frac{170}{2 \cdot 4,3 \cdot 3,14} \approx 80,97\%.$$

Відповідний радіус кривизни дорівнює:

$$\rho = R \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{S}{2 R \pi}\right)^2}; \quad (3.11)$$

$$\rho = 4,3 \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{170}{2 \cdot 4,3 \cdot 3,14}\right)^2} \approx 175 \text{ мм.}$$

Поряд із вигином необхідно обмежувати розтягування та стиснення світловодів у жилах, щоб у заданих діапазонах навантажень на розтягування та температурних діапазонах у ВОК не виникали неприпустимі зміни передавальних характеристик та небезпека пошкодження світловодів. Відносна зміна довжини $\Delta L/L$ ВОК, тобто. допустиме подовження E_k або стиснення E_{tk} кабелю дорівнює:

$$E = 1 + \sqrt{1 + \frac{4 \pi^2 R^2}{s^2}} \cdot 2 \cdot \frac{\Delta R}{R} \pm \frac{\Delta R^2}{R^2}; \quad (3.12)$$

де знак "+" для стиснення кабелю E_{tk} ; знак "-" для подовження кабелю E_k .

Так, знаючи номінальний внутрішній діаметр оболонки $a_i = 2\text{мм}$, 12 світловодів із ступінчастим (дубльованим профілем) показника заломлення мають загальний зазор:

$$\Delta R = \frac{2,0 - 1,0}{2} = 0,5 \text{ мм} .$$

Тоді максимальне допустиме подовження кабелю дорівнює формула (3.12):

$$E = 1 + \sqrt{1 + \frac{4 \cdot 3,14^2 \cdot 4,3^2}{170^2} \cdot 2 \cdot \frac{0,5}{4,3} \pm \frac{0,5^2}{4,3^2}} .$$

Модю називають різновид хвилі, що відрізняється структурою. Багатомодовий характер поля означає, що електромагнітна хвиля, що розповсюджується по оптичному волокну, утворена кількома хвилями різного типу. Досить знати нормовану частоту V визначення режиму роботи світловода, так за $V = 2,405$ - багатомодовий, а даної випускний роботі дипломному проєкті $V = 2,3702$, тобто одномодовий. У загальному вигляді число мод у ОВ визначається:

$$N = \frac{V^2 \left(1 + \frac{2}{n}\right)}{2}, \quad (3.13)$$

де n – показник ступеня зміни профілю показника заломлення.

ОК характеризуються двома найважливішими параметрами: згасанням та дисперсією.

Згасання α визначає довжину регенераційних ділянок (відстань між регенераторами) та для трактів оптичних кабелів обумовлено власними втратами у волоконних світловодах α_c і додатковими втратами викликаними кабельними α_k обумовлені скруткою, а також вигинами світловодів при накладенні покриттів і захисних покритті в процесі виготовлення оптичного кабелю.

в першу чергу зі втрат поглинання α_p і втрат розсіювання α_r . Механізм втрат, що виникають при поширенні по волоконному світловоду електромагнітної енергії пояснюється так: частина потужності, що надходить на вхід світловода розсіюється внаслідок зміни напрямку поширення променів на нерівностях та їх висвічу-

вання в навколишній простір (α_p), а інша частина потужності поглинається сторонніми домішками, виділяючись вигляді джоулевого тепла ($\alpha_p + \alpha_{pr}$).

Втрати на поглинання залежать від чистоти матеріалу і за наявності сторонніх домішок (α_{pr}) можуть досягати значної величини ($\alpha_p + \alpha_{pr}$).

Втрати на розсіювання лімітують межу мінімально допустимих значень втрат у волоконних світловодах. В результаті:

$$\alpha = \alpha_p + \alpha_r + \alpha_{pr} + \alpha_k.$$

Поряд із загасанням пропускна здатність dF є найважливішим параметром ВОСП. Вона визначає смуги частот, що пропускається світловодом, і відповідно обсяг інформації, який можна передавати по оптичному кабелю. Теоретично по волоконному світловоду можна організувати безліч каналів передачі інформації великі відстані. Однак є значні обмеження, обумовлені тим, що сигнал на вхід приймального пристрою приходить спотвореним, чим довша лінія, тим більше спотворення. Дане явище носить назву дисперсії та зумовлене різницею часу поширення різних мод у світловоді та наявністю частотної залежності показника заломлення [7].

3.3.2 Розрахунок дисперсії

Будь-який ВО світловод характеризується таким важливим параметром як дисперсія.

Дисперсія - це розсіювання в часі спектральних чи модових складових оптичного сигналу. Дисперсія призводить до збільшення тривалості імпульсу під час проходження ОК.

Дисперсія як обмежує частотний діапазон використання світловодів, а й знижує дальність передачі ОК, оскільки чим довша лінія, тим більше проявляється дисперсія і більше розширення імпульсу.

Розрізняють три види дисперсії волоконного світловоду: міжмодова, матеріальна та хвилеводна. Модова дисперсія виникає при поширенні у світловоді кількох мод. В одномодових світловодах модова дисперсія відсутня. Матеріальна дисперсія обумовлена залежністю показника заломлення матеріалу осердя від довжини хвилі. Хвильова дисперсія пояснюється залежністю постійного поширення довжини хвилі,

т.к. джерело випромінювання випромінює не строго одну довжину хвилі, а деякий спектр хвиль, який характеризується значенням спектральної ширини джерела.

Зробимо розрахунок довжини ділянки регенерації з урахуванням дисперсії та згасання та проаналізуємо розрахунки.

Тип волокна – FS (ступінчастий ППП);

Довжина хвилі $\lambda = 1550$ нм;

Питома хроматична дисперсія $D(\lambda) = 18$ пс /нм. км;

Питома смуга пропускання $W = 0,44 / \tau$ МГц · км ;

Ширина імпульсу лазера $\Delta\lambda = 0,1$ нм;

Дисперсія $\tau = \Delta\lambda \times D(\lambda)$ пс /км;

Система передачі SMA-64, швидкість $V = 2488.320$ Мбіт/с (передаюча смуга чисельно дорівнює швидкості помноженої на коефіцієнт 1,25);

Частота модуляції нормована (ширина спектру імпульсу на вході приймача) $f(\lambda) = 1,25 \cdot 2500 = 3125$ МГц;

Так як у технології CWDM немає необхідності встановлювати регенераційну ділянку, розрахунок не робимо

3.3.3. Розрахунок обмеження дисперсії

Дисперсійне розширення імпульсу визначимо:

$$\tau = \tau \Delta\lambda \cdot D(\lambda); \quad (3.14)$$

Питома смуга пропускання :

$$W = \frac{0,44}{\tau} \quad (3.15)$$

$$W = \frac{0,44}{1,8 \cdot 10^{12}} = 244444 \text{ МГц} \cdot \text{к.}$$

Матеріальна дисперсія визначається :

$$T_{mat} = \Delta\lambda \cdot M, \quad (3.16)$$

де M – коефіцієнт питомої матеріальної дисперсії; для плавленого кварцу ($M = 0,3098$);

$\Delta \lambda$ - спектральна ширина лазера ($\Delta \lambda = 5$ нм).

Визначимо по формулою (3.16):

$$\tau_{mat} = 0,5 \cdot 10^{-9} \cdot 0,3098 = 1,549 \cdot 10^{-10}, \text{ с/км.}$$

Визначимо хвилеводну дисперсію для східчастого світловоду:

$$\tau_{\text{вв}} = \frac{\Delta \lambda}{\lambda} \frac{2 n_1^2 \Delta}{c}; \quad (3.17)$$

де c - швидкість світла у вакуумі ($3 \cdot 10^5$ км/с). Визначимо по формулою (3.17)

$$\tau_{\text{вв}} = \frac{0,5 \cdot 10^9}{1,55 \cdot 10^9} \frac{2 \cdot 1,4675^2 \cdot 0,003}{3 \cdot 10^5} = 1,39 \cdot 10^{11} \text{ с/км.}$$

Сумарна дисперсія для одномодового ВО світловода визначається сумою матеріальної та хвилеводної дисперсій:

$$\tau_{\Sigma} = \tau_{\text{вв}} + \tau_{mat}; \quad (3.18)$$

Визначимо сумарну дисперсію за формулою (3.18):

$$\tau_{\Sigma} = 1,39 \cdot 10^{10} + 1,549 \cdot 10^{11} = 1,41 \cdot 10^{10} \text{ с/км.}$$

За допомогою загальної дисперсії можна визначити ширину пропускання світловоду F :

$$\Delta F = \frac{1}{\tau_{\Sigma}}; \quad (3.19)$$

Визначимо ширину пропускання світловоду за формулою (3.19):

$$\Delta F = \frac{1}{1,41 \cdot 10^{10}} = 7,09 \text{ ГГц/км.}$$

3.4. Оптичний доступ на основі WDM

Вимоги до архітектур FTTH наступного покоління

Набір цільових показників продуктивності був встановлений членами мережі повного доступу до послуг (FSAN) для наступного покоління PON, які збільшують

пропускну здатність і економічно ефективно, зберігаючи попередні інвестиції. Ці вимоги до продуктивності можна підсумувати таким чином [5]:

- Збільшення пропускну здатності у 4 рази.
- Дотримання параметрів аналогічних оптичної розподільної мережі.
- Дотримання розподілу довжини хвилі GPON.
- Зменшення мінімального рівня доступу до медіа (MAC - media access control).
- Увімкнення співіснування з GPON.

Крім того, IEEE встановив схожі цілі, але він зосереджений на рішенні мультиплексування з тимчасовим поділом (TDM) 10G Ethernet (GEAPON). Будь-які проблеми співіснування з GEAPON вирішуються шляхом використання іншої довжини хвилі для 10GEAPON.

Гібридний PON з чотирма довжинами хвилі — це підхід, який розміщує чотири логічні PON на одному волокні з використанням чотирьох дискретних довжин хвиль. При швидкості 10 Гбіт/с це збільшує пропускну здатність GEAPON у чотири рази. Існуючий нижній діапазон хвиль 1480-1500 нм можна легко розділити на чотири діапазони, що дозволяє економічно ефективно використовувати чотири недорогі лазери середньої щільності.

У випадку GEAPON і FSAN пропонується використання гібридних спліттерів. Це дозволить лише одному з чотирьох сигналів GEAPON проходити до будь-якого конкретного ONT. До речі, загальні втрати гібридного розгалужувача залишаться такими ж або покращеними, ніж розгалужувач живлення. Пропонується спеціальний розгалужувач подвійного призначення, який можна було б використовувати спочатку як розгалужувач живлення, а потім як гібридний розгалужувач, таким чином уникаючи вартості його заміни. У висхідному маршруті ONT сприятиме наявній довжині хвилі 1310 нм, а пропускну здатність висхідного каналу залишиться незмінною, що призведе до співвідношення 8:1 між пропускну здатністю низхідного та висхідного каналів.

3.5. Розрахунок моделі мережі WDM-PON наступного покоління

BER проти SNR

У моделі передбачається чотириканальна система CWDM (1490-1550 нм), 2,5 ГБ/с, система світлових хвиль з прямою модуляцією пасивної оптичної мережі. Джерелом є модулі DFB-LD з довжиною хвилі (1270 нм ~ 1610 нм), а пропускна здатність становить 2,5 Гбіт/с.

Частота бітових помилок (BER) визначається як ймовірність того, що біт неточно визначено приймачем, тобто що переданий (0) виявлений як (1), або (1) виявлений як (0). Теоретична частота бітових помилок, як функція відношення сигнал/шум (S/N), відома як результат формули [9,10]:

$$\text{BER} = \frac{1}{2} \left[1 - \text{erf} \left(\sqrt{\frac{I_s^2}{I_n^2}} \right) \right] \quad (3.20)$$

У нашій системі CWDM ми припускаємо, що оптична потужність епізоду на фотодіодному детекторі дорівнює $P_r W$, а чутливість детектора дорівнює 1 A/W , струм сигналу в фотодіоді можна записати так:

$$(I_s) = P_r R_\lambda \quad (3.21)$$

Шум, що виникає в детекторі, є струмом теплового шуму та генерується всередині навантажувального резистора R_L фотодетектора, струм теплового шуму визначається як:

$$(I_{th}^2) = \frac{4KT\Delta f}{R_L} \quad (3.22)$$

де K — постійна Больцмана ($1,3805 \cdot 10^{-23}$ Дж/К), T — температура — 300 К Δf — пропускна здатність сигналу — 2,5 Гбіт/с, R_L — резистор навантаження в Ом.

Тому сумарний струмовий шум дорівнює:

$$I_n = I_{th} + I_d \quad (3.23)$$

Відношення сигнал/шум (S/N) визначається як:

$$\left[\frac{S}{N} \right]_{\text{dB}} = 20 \text{Log} \left[\frac{i_s}{i_n} \right] \quad (3.24)$$

Співвідношення сигнал/шум цієї моделі становить близько 41,4 дБ, як показано на рисунку 3.2., тоді BER для запропонованої системи становить приблизно $5 \cdot 10^{-8}$.

Помітно, що частота бітових помилок (BER) зменшується, оскільки відношення сигнал/шум (S/N) збільшується. Отже, дані можуть передаватися з високою перевагою, оскільки очікування помилки зменшується.

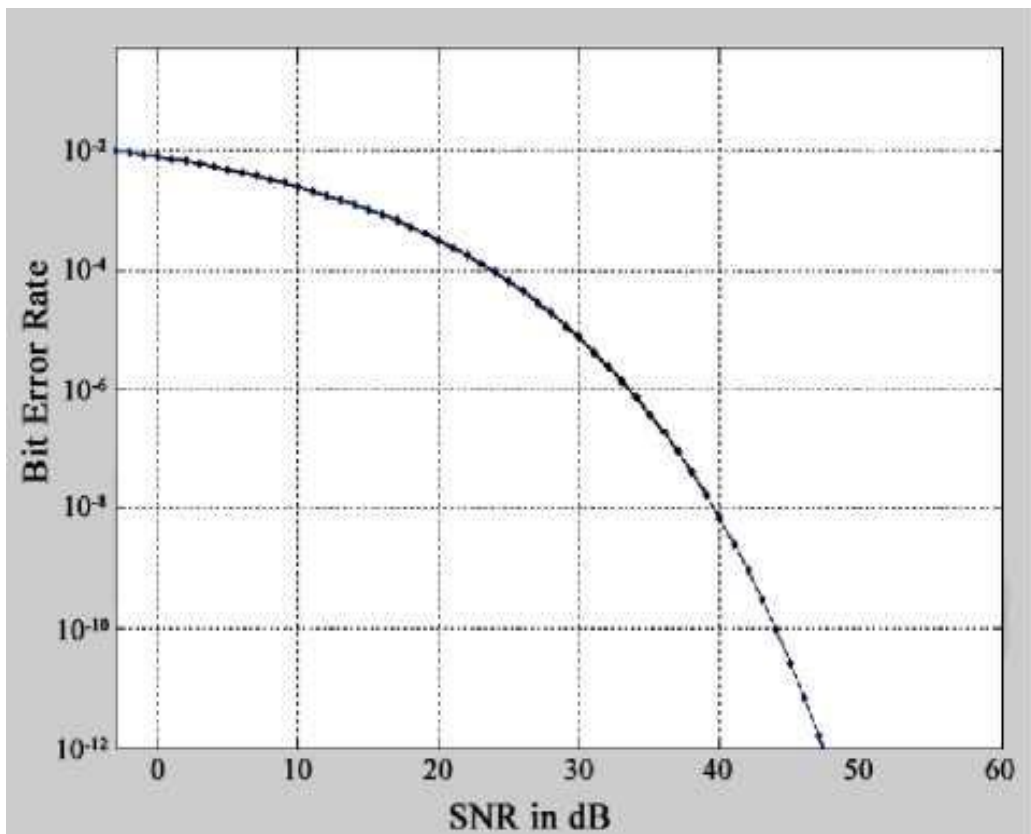


Рисунок 3.2. BER як функція SNR CWDM.

Покриття WDM-PON

Для різних коефіцієнтів розгалужувача внесені втрати відрізняються, причому вставні втрати розгалужувача задані [2]:

$$L_{\text{splitter}} = 10 \text{Log}_{10} \frac{1}{\text{splitter_ratio}} \quad (3.25)$$

Максимальна відстань покриття N віддаленого вузла визначається як:

$$D_{N-Max} = \left[\frac{\{(P_{Tx} - P_{Rx-Min}) - [N * (2 * L_{TFF} + L_{TFF-other}) + L_{TFF}] - L_{splitter} - L_{others}\}}{F_{attenuation}} \right] \quad (3.26)$$

де P — середня потужність передачі, P_{Rx-1} — мінімальна оптична потужність прийому без помилок в ONU/ONT, або її можна описати як чутливість прийому ONU/ONT, L_T — вставні втрати TFF, $L_{TFF-other}$ — це деяке інше ослаблення, пов'язане з TFF, L_{oth} — це інші затушення, такі як втрата інтерфейсу, $F_{attenuat}$ на різних довжинах хвиль CWDM має різне затушення.

Як показано на рисунку 3.3. Співвідношення між відстанню та вузлами з різною кількістю розгалужувачів, зі збільшенням значення розгалужувача покриття PON стає менше.

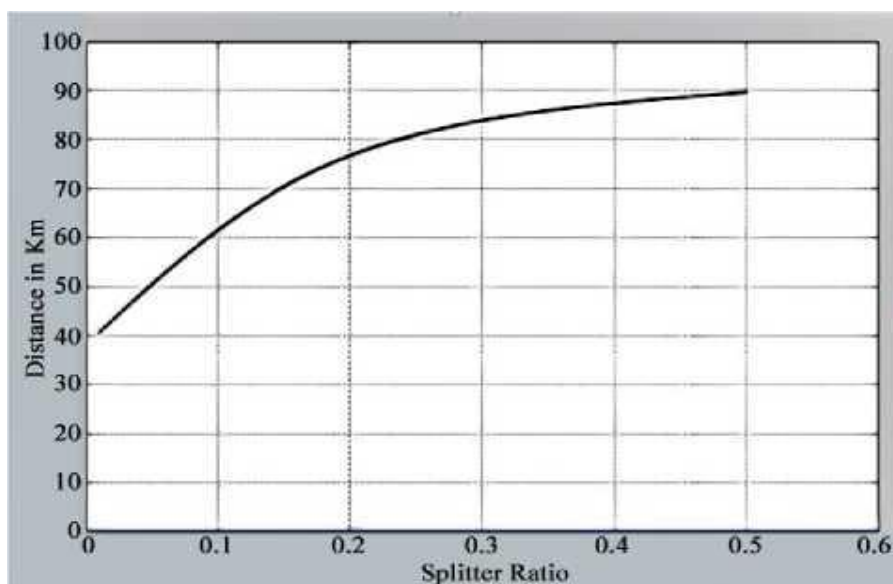


Рисунок 3.3. Відстань покриття віддаленого вузла з іншим спліттером

Надійну кабельну розводку можна досягти миттєво за допомогою поточних модифікованих технологій. Наші оцінки показують високу ефективність запропонованої моделі. Досягнута швидкість передачі даних становила 10 Гбіт/с завдяки використанню чотирьох довжин хвиль оптичного волокна. У представленому сценарії використовувалася технологія пасивної оптичної мережі як мережа передачі між центральним офісом і кінцевими користувачами. Зрештою, подальші дослідження можуть бути проведені щодо використання CWDM-GEPON у метро та оптоволоконних маршрутах на великі відстані.

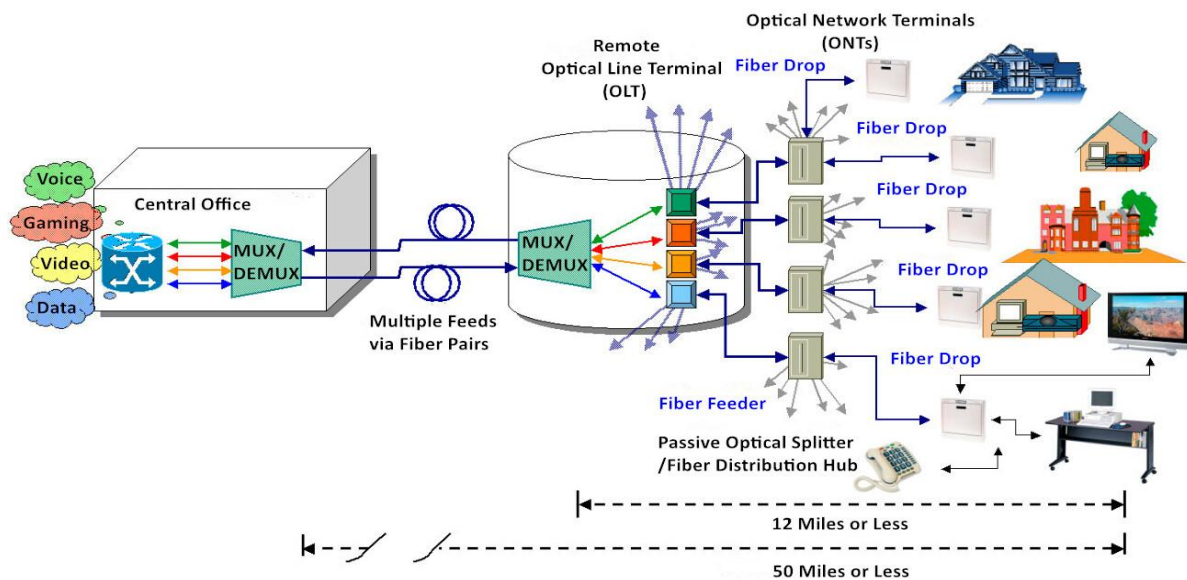


Рисунок 3.4. Волоконно-оптична мережа для Gigabit Ethernet з використанням пасивного CWDM

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3

Представлено інноваційне рішення для збільшення пропускної здатності оптичних мереж доступу. Проектована мережа широкосмугового доступу є ключовим рішенням для оптичного зв'язку «точка-багато точок». Високі швидкості передачі даних досягаються за допомогою недорогих інфраструктур. У цьому розділі CWDM розглядається як надзвичайно виняткове налаштування для постачальників послуг високошвидкісного інтернету до кінцевого користувача.

Надійне прокладання кабелів може бути досягнуто миттєво за допомогою сучасних модифікованих технологій. Необхідно дати високу оцінку ефективності запропонованої моделі. Досягнута швидкість передачі даних склала 10 Гбіт/с завдяки чотирьом приєднаним довжинам хвиль оптичного волокна. У представленому сценарії як середовище передачі між центральним офісом і кінцевими користувачами використовується технологія гігабітної пасивної оптичної мережі. Зрештою, подальші дослідження можуть бути спрямовані на використання CWDM-PON у міських та магістральних волоконно-оптичних маршрутах.

ВИСНОВКИ

У роботі було розглянуто приклад мережевої архітектури GPON, склад обладнання GPON, а також розглянуто CWDM - це мультиплексор з розрідженим поділом по довжині хвилі, також відомий як мультиплексор з грубим поділом по довжині хвилі. Було розглянуто збільшення зони охоплення мультисервісних мереж доступу, а саме GPON через часткове перетин частотних діапазонів сигналів CWDM і GPON, що дозволяє передавати їх в одному волокні. Таким чином, в одному оптичному волокні можна передавати сигнали від обладнання GPON до 7 дуплексних каналів за технологією CWDM. Також була розглянута організація зв'язку в комбінованих CWDM+GPON системах. Застосування комбінованих CWDM+GPON систем на етапах створення або модернізації існуючих мереж GPON дозволяють без прокладання додаткових волоконно-оптичних кабелів та використання додаткових волокон отримати ряд переваг, основним з яких є збільшення зони покриття мережі доступу.

Представлена пропозиція щодо модернізації та розширення існуючої мережі PON за рахунок використання WDM у стандартній оптичній мережі GPON або GPON. Було описано топологію мережі та представлено експериментальне підтвердження концепції. Хороша характеристика коефіцієнта бітових помилок, подана пропозицією, показала його здійсненність.

Мета полягає в тому, щоб збільшити кількість оптичних розподільчих мереж (ODN), що живляються одним волокном, при збереженні пропускної здатності користувачів. У цьому підході сигнали з чотирма довжинами хвиль у низхідному напрямку (DS) передаються від терміналу оптичної лінії (OLT) до чотирьох різних ODN з використанням стандартного спектра DS PON в діапазоні від 1480 до 1500 нм. Висхідні (US) сигнали від чотирьох різних ODN також мультиплексуються по довжинах хвиль стандартного спектру US PON в діапазоні від 1270 до 1330 нм.

Представлено інноваційне рішення для збільшення пропускної здатності опти-

чних мереж доступу. Проектована мережа широкосмугового доступу є ключовим рішенням для оптичного зв'язку «точка-багато точок». Високі швидкості передачі даних досягаються за допомогою недорогих інфраструктур. CWDM розглядається як надзвичайно виняткове налаштування для постачальників послуг високошвидкісного інтернету до кінцевого користувача.

Надійне прокладання кабелів може бути досягнуто миттєво за допомогою сучасних модифікованих технологій. Досягнута швидкість передачі даних склала 10 Гбіт/с завдяки чотирьом приєднаним довжинам хвиль оптичного волокна. У представленому сценарії як середовище передачі між центральним офісом і кінцевими користувачами використовується технологія гігабітної пасивної оптичної мережі. Зрештою, подальші дослідження можуть бути спрямовані на використання CWDM-PON у міських та магістральних волоконно-оптичних маршрутах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Lung, B. 1999 Архітектура PON Майбутні докази FTTH. J. Технологія світлових хвиль. т. 16, 10 (1999) 104-107
2. Zheng, J., and Mouftan, HT2005 Контроль доступу до медіа для пасивної оптичної мережі Ethernet. IEEE Communication Mag, том 43, 2 (2005) 145-150.
3. Kramer and Pesavento 2002 Пасивна оптична мережа Ethernet (EPON): створення оптичної мережі доступу наступного покоління. IEEE Communication Mag., том 40, 2 (2002) 66-73.
4. Крамер, Г., Мукерджі, Б. і Песавенто, Г. 2001 Ethernet PON (ePON): проектування та аналіз оптичної мережі доступу. Photonic Network Communications том. 3 (2001) 307-319.
5. Mukherjee, B. Оптичні мережі зв'язку. Макгроу-Хілл, Нью-Йорк. 1997
6. Рамасвами, Р. і Сівараджан, К.Н. Оптичні мережі, практична перспектива. Морган Кауфманн, Сан-Франциско. 1998
7. F. An, K. S. Kim, D. Gutierrez, S. Yam, E. Hu, K. Shrikhande, and L. G. Kazovski, "SUCCESS: a next-generation hybrid WDM/TDM optical access network architecture", J. Lightwave Technology, Vol. 22, No 11, pp.2557–2569, November 2004.
8. G.984.2, "Gigabit-capable Passive Optical Networks (GPON): Physical Media Dependent (PMD) layer specification", ITU-T, 2003.
9. J. Kani, "Enabling Technologies for Future Scalable and Flexible WDM-PON and WDM/TDM-PON Systems", IEEE
10. Journal of Selected Topics in Quantum Electronics, Vol. 16, No. 5, pp.1290-1297, September/October 2010.
11. G.694.2, "Spectral grids for WDM applications: CWDM frequency grid", ITU-T, 2002.
12. G.987.1, "10-Gigabit-capable passive optical networks (XG-PON): General requirements", 2010.

13. G.983.3, “A broadband optical access system with increased service capability by wavelength allocation”, ITU-T, 2001.

14. G.984.6, “Gigabit-capable passive optical networks (GPON): Reach extension”, ITU-T, 2008.