

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет _____ комп'ютерної інженерії та управління _____

Кафедра _____ електронних обчислювальних машин _____

Рівень вищої освіти _____ перший (бакалаврський) _____

Спеціальність _____ 123 «Комп'ютерна інженерія» _____
(код і повна назва)

Тип програми _____ освітньо-професійна _____
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма _____ Комп'ютерна інженерія _____
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____
(підпис)

“ _____ ” _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

здобувачеві _____ Кураксіну Євгенію Олександровичу _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи _____ Високошвидкісна комп'ютерна мережа установи на основі оптичних ліній зв'язку _____

затверджена наказом по університету від “ 26 ” травня 2025 р. № 425 Ст

2. Термін подання здобувачем роботи до екзаменаційної комісії _____ 17 червня 2025 р.

3. Вхідні дані до роботи _____

1. Розробка комп'ютерної мережі установи _____

2. Опис організаційної структури установи _____

3. Вимоги до швидкості передачі інформації в мережі _____

4. Перелік використаних програмних засобів: ОС Windows 10 _____

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати у роботі _____

1. Аналіз стану проблеми _____

2. Огляд сучасних та майбутніх технологій передачі даних _____

3. Огляд сучасних та майбутніх тенденцій побудови мереж _____

4. Розробка загальної структури мережі установи _____

5. Аналіз та вибір апаратних засобів реалізації _____

6. Висновки _____

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій 13 слайдів

6. Консультанти розділів роботи (заповнюється за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1)

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Строк / терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз сучасного стану проблеми та методів її вирішення	26.05.25-28.05.25	
2	Аналіз роботи підприємства	29.05.25-05.06.25	
3	Розробка структури корпоративної мережі установи	06.06.25-09.06.25	
4	Вибір апаратних засобів реалізації мережі	10.06.25-11.06.25	
5	Оформлення матеріалів кваліфікаційної роботи	12.06.25-14.08.25	
6	Подання кваліфікаційної роботи на рецензування	15.06.25	

Дата видачі завдання “ 26 ” травня 2025 р.

Здобувач

_____ (підпис)

Керівник роботи

_____ (підпис)

ст. викл. Ольга ЄРОШЕНКО

_____ (посада, власне ім'я, прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка кваліфікаційної роботи: 59 с., 24 рис., 1 дод., 7 джерел.

FTTX, WI-FI, АБОНЕНТ, АНАЛІЗ, БАГАТОКВАРТИРНИЙ БУДИНОК, ІНТЕРНЕТ, КАБЕЛЬ, МАРШРУТ, ОПТОВОЛОКНО.

Метою кваліфікаційної роботи є розробка проекту волоконно-оптичної мережі, яка забезпечить широкосмуговий доступ до Інтернету абонентам, які проживають у багатоквартирних будинках міста. З цією метою технології будуть порівняні шляхом аналізу та розроблена нова топологія мережі. Найкраще рішення буде обрано на основі технічного аналізу.

ABSTRACT

Bachelor's thesis: 59 pages, 24 figures, 1 appendices, 7 sources.

FTTX, WI-FI, SUBSCRIBER, ANALYSIS, APARTMENT BUILDING, INTERNET, CABLE, ROUTE, FIBER.

The purpose of the qualification work is to develop a fiber-optic network project that will provide broadband Internet access to subscribers living in apartment buildings in the city. For this purpose, technologies will be compared through analysis and a new network topology will be developed. The best solution will be chosen based on technical analysis.

ЗМІСТ

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ	8
ВСТУП	9
1 ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЙ КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖ	11
1.1 Визначення поняття комп'ютерна мережа	11
1.2 Класифікація комп'ютерних мереж	12
1.2.1 Поділ мереж за зоною дії	12
1.2.2 Поділ мереж за топологією	13
1.3 Еталонна модель ISO/OSI	17
1.4 Архітектура TCP/IP	18
1.5 Середовище передачі	19
1.6 Оптична мережа доступу	25
2 ОПТИЧНА МЕРЕЖА ДОСТУПУ	27
2.1 Сучасні мережі доступу	27
2.2 Технологія FTTH	28
2.3 Активна оптична мережа	30
2.4 Ethernet у першій милі (EFM)	33
2.4.1 100BASE-LX10	33
2.4.2 100BASE-BX10	33
2.4.3 1000BASE-LX10	33
2.4.4 1000BASE-BX10	34
2.5 10GE (10 Gigabit Ethernet)	34
2.5.1 10GBASE-SR	34
2.5.2 10GBASE-LR	35
2.5.3 10GBASE-ER	35
2.5.4 10GBASE-LX4	35
3 ПРОЕКТУВАННЯ ОПТОВОЛОКОННОЇ МЕРЕЖІ УСТАНОВИ	36
3.1 Застосування технології в умовах міста	36

3.2 Варіанти побудови комп'ютерної мережі	37
3.3 Вибір обладнання мережі провайдера	41
3.3.1 Магістральний комутатор	41
3.3.2 Оптична платформа OptiX OSN 8800	42
3.3.3 Комутатор рівня кварталу EX4500-40F-BF-C.....	46
ВИСНОВКИ.....	50
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	51
ДОДАТОК А Графічний матеріал кваліфікаційної роботи.....	52

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

АЛ – абонентська лінія

БС – базова станція

МД – мережа доступу

ТКМ – телекомунікаційна мережа

FTTB – волокно до будинку (англ. Fiber To The Building)

FTTC – волокно до шкафу (англ. Fiber To The Curb)

FTTH – волокно до квартири (англ. Fiber To The Home)

FTTN – волокно до вузла (англ. Fiber to the Node)

FTTO – волокно до офісу(англ. Fiber To The Office)

PON – пасивні оптичні мережі (англ., Passive Optical Network)

OLT – оптичний термінал (англ. Optical Line Terimal)

ONT – оптичний мережевий термінал (англ. Optical Network Terminal)

ВСТУП

У сучасних умовах стрімкого зростання обсягів переданої інформації та кількості активних користувачів телекомунікаційних систем оператори зв'язку постійно шукають нові шляхи підвищення ефективності своєї діяльності. Цьому сприяє безперервний розвиток мережевих технологій та впровадження інноваційних рішень.

Сучасні споживачі очікують надійного доступу до якісних мультимедійних сервісів та телекомунікаційних послуг. Найбільш затребуваними серед приватних користувачів є такі послуги, як: високошвидкісний доступ до мережі Інтернет, онлайн-кінотеатри, цифрове IP-телебачення з високою роздільною здатністю, IP-телефонія, доступ до ігрових платформ, системи «розумного будинку», а також додаткові сервіси на кшталт батьківського контролю, хостингу вебресурсів, оренди телекомунікаційного обладнання, придбання ліцензійного програмного забезпечення та ігор.

На розвиток телекомунікаційної інфраструктури істотно впливають такі сучасні концепції, як NGN (мережі наступного покоління) та IoT (інтернет речей), які задають нові вектори розвитку для як великих, так і локальних провайдерів.

У зв'язку з постійним збільшенням кількості абонентських пристроїв у кожному домогосподарстві, оператори зв'язку змушені розширювати пропускну здатність каналів доступу та нарощувати обчислювальні ресурси комутаційного обладнання.

Особливої актуальності набуває проблема вибору технології реалізації «останньої милі» при підключенні нових користувачів. Необхідно обрати технічно та економічно доцільне рішення, що забезпечить прийнятний термін окупності проекту й водночас дозволить надати конкурентний спектр телекомунікаційних послуг.

Метою даної випускної кваліфікаційної роботи є розроблення проекту побудови мультисервісної абонентської мережі зв'язку для житлового комплексу «Веселка» у місті Кременчук з метою забезпечення мешканців сучасним пакетом інфокомунікаційних сервісів.

Для досягнення цієї мети передбачено виконання наступних завдань:

- проаналізувати інженерну та просторову інфраструктуру мікрорайону;
- визначити перелік послуг, що надаватимуться абонентам;
- сформулювати вимоги до мережі та обрати оптимальну технологію реалізації;
- розробити схему побудови лінійно-кабельної інфраструктури;
- надати рекомендації щодо впровадження проектованої мережі.

1 ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЙ КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖ

1.1 Визначення поняття комп'ютерна мережа

Комп'ютерна мережа – це сукупність двох або більше комп'ютерних пристроїв, з'єднаних між собою для організації обміну інформацією. Сьогодні комп'ютерні мережі стали невід'ємною складовою повсякденного життя, вони широко поширені в побуті, навчальних закладах, робочих організаціях, державних структурах тощо. Завдяки своїй універсальності та функціональним перевагам, мережі отримали широке розповсюдження по всьому світу [1].

Основні переваги комп'ютерних мереж включають:

- обмін даними – користувачі отримують індивідуальний доступ до спільних ресурсів, наприклад, до файлів, що зберігаються на сервері або іншому мережевому пристрої;
- простота передачі інформації – передача даних між комп'ютерами відбувається швидко та зручно без необхідності використовувати фізичні носії, такі як зовнішні диски, CD/DVD тощо;
- спільне використання апаратних ресурсів – наприклад, один принтер може обслуговувати декілька користувачів, що знижує загальні витрати на обладнання;
- мережевий зв'язок – забезпечує координацію та взаємодію між комп'ютерами в мережі, що дає змогу, наприклад, отримувати доступ до глобальної мережі Інтернет;
- захист даних – централізоване зберігання важливої інформації на сервері дозволяє контролювати цілісність та безпеку даних, надаючи права доступу лише авторизованим користувачам.

Таким чином, комп'ютерні мережі забезпечують ефективне, зручне та безпечне середовище для обміну інформацією та використання ресурсів.

1.2 Класифікація комп'ютерних мереж

Існують різні критерії, за допомогою яких класифікують комп'ютерні мережі. Ці критерії дозволяють розділити мережі на типи залежно від їхніх характеристик та призначення. Завдяки такій класифікації стає можливим більш чітко визначити особливості кожного виду мережі.

1.2.1 Поділ мереж за зоною дії

Комп'ютерні мережі класифікують за різними критеріями, серед яких одним із найважливіших є зона їхнього покриття. Локальні мережі, або LAN, охоплюють невеликі території – це можуть бути окремі приміщення, будівлі чи офіси. Вони призначені для спільного використання ресурсів, таких як принтери чи файлові сховища, і забезпечують швидкий обмін інформацією на обмеженій відстані [1].

У свою чергу, глобальні мережі WAN – охоплюють значно більші території і слугують для об'єднання численних локальних мереж. Вони використовують спеціалізовані канали передачі даних, такі як оптичні лінії або бездротові технології, і можуть мати масштаб від корпоративних мереж до всесвітньої мережі Інтернет.

Міські мережі, відомі як MAN, займають проміжне положення за розміром між LAN і WAN. Вони з'єднують локальні мережі в межах міста або регіону, створюючи середовище для більш ефективної взаємодії між організаціями чи установами на цьому рівні.

Окремою категорією є мережі кампусу (CAN), які схожі на MAN, але обмежені територією конкретного кампусу або комплексу будівель, які контролюються однією організацією.

Це можуть бути університети, наукові центри або великі корпорації, які потребують надійного зв'язку та спільного використання ресурсів в межах свого простору.

1.2.2 Поділ мереж за топологією

Топологія «шина» у мережах організовує маршрут передачі даних у вигляді єдиного каналу, до якого підключені всі станції. Це дозволяє легко додавати нові вузли до мережі, проте створює складнощі з забезпеченням безпеки передачі даних. Основною перевагою такої топології є мінімальні вимоги до кабельної розводки у порівнянні з іншими типами, що робить її економічно вигідною [2].

Всі повідомлення в мережі, побудованій за принципом шини, передаються по загальному каналу і проходять через кожен підключену станцію (рисунок 1.1). Кожен вузол перевіряє, чи призначене отримане повідомлення саме йому, і у разі підтвердження – обробляє його. Перед відправленням власних даних станція повинна переконатися, що канал вільний від інших повідомлень. Значною перевагою топології «шини» є зниження кількості кабелів у порівнянні, наприклад, з топологією «зірка», де кожен вузол має окреме з'єднання з центральним пристроєм, що призводить до збільшення загальної довжини кабелів. Прикладом мережі на основі шини є Ethernet із доступом за принципом загальної шини.



Рисунок 1.1 – Топологія «шина»

Водночас, серед недоліків цієї топології слід відзначити необхідність дотримання мінімальних відстаней між відгалуженнями, щоб уникнути взаємних перешкод у сигналах. Також діагностика несправностей у мережі шини є складнішою через спільний канал передачі. Крім того, топологія шини практично не передбачає вбудованих засобів безпеки, на відміну від топології «зірка», що може призвести до ризику несанкціонованого прослуховування мережевого трафіку.

Топологія «зірка» відрізняється простою масштабованістю – підключення нових вузлів здійснюється легко та швидко. Вона також забезпечує більш ефективний контроль і діагностику мережі. Ця топологія є однією з найпоширеніших і була реалізована ще в телефонних мережах, де центральний комп'ютер (або комутатор) виконує функцію контролера, координуючи потік усіх даних між підключеними станціями. Центральний вузол у зірковій топології нагадує телефонну станцію, через яку проходить весь мережевий трафік (рисунок 1.2).



Рисунок 1.2 – Топологія «зірка»

Ця архітектура не викликає складнощів при додаванні нових станцій – достатньо прокласти кабель від центрального комп'ютера до мережевого інтерфейсу кожного нового вузла.

Серед інших переваг зіркоподібної топології варто виділити можливість адміністратору мережі встановлювати різні пріоритети для окремих станцій, що сприяє більш ефективному управлінню ресурсами та полегшує діагностику мережевих функцій.

Крім того, така структура забезпечує підвищений рівень безпеки мережі.

Проте головним недоліком зіркоподібної топології є її залежність від центрального вузла – у разі виходу з ладу центрального комп'ютера вся мережа перестане функціонувати. Для уникнення цієї вразливості існує альтернативний варіант – ієрархічна зіркоподібна топологія, яка складається

з кількох взаємопов'язаних «зірок». У такій структурі відмова окремого сегмента не призводить до зупинки роботи всієї мережі, що значно підвищує її надійність.

Топологія «зірка» передбачає використання центрального пристрою – хаба, який може бути пасивним (часто у випадку оптичних мереж) або активним. Мережа характеризується високою чутливістю до відключення цього центрального вузла, адже його вихід з ладу призводить до втрати зв'язку всієї мережі. При цьому топологія зірки забезпечує просту реалізацію з'єднань «точка-точка», що особливо вигідно при використанні оптичних волокон. Вона є стійкою до відмови окремих станцій, але залежить від безперебійної роботи хаба.

Топологія «дерево» формується як розширення зіркової структури і застосовується переважно у широкосмугових та оптичних мережах зі структурованою кабельною системою. Вона успадковує основні властивості топології зірки, водночас реалізуючи управління мережею як за принципами шини, так і ієрархічне керування, що підвищує гнучкість і масштабованість мережі (рисунок 1.3).



Рисунок 1.3 – Топологія «дерево» (дерево, розподілена зірка)

Кільцева топологія поєднує ключові переваги як зіркової, так і шинної структур мережі. У ній одна з робочих станцій виконує функцію контролера, здійснюючи нагляд за роботою всієї мережі. Завдяки такій організації відмова окремої станції не призводить до повного збою мережі.

Ця топологія являє собою замкнуте коло, де вузли (станції) з'єднані послідовно один з одним.

Передача повідомлень відбувається послідовно – у одному напрямку від одного вузла до наступного, що забезпечує упорядкований обмін даними (рисунок 1.4).

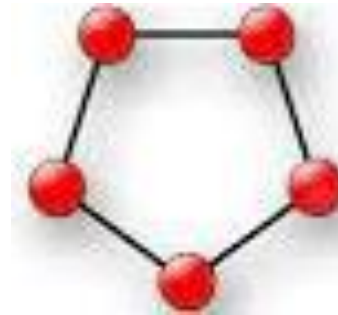


Рисунок 1.4 – Топологія «кільце»

Топологія «кільце» забезпечує контроль доставки повідомлень, оскільки дані рухаються по замкнутому ланцюгу, що дозволяє перевірити, чи досягло повідомлення призначеного вузла.

Вона також дає змогу реалізувати рівноправний доступ усіх станцій до мережевого ресурсу.

Для управління мережею в її структурі виділяють так званий наглядовий вузол, який відповідає за діагностику та моніторинг. У разі виходу з ладу цього вузла його функції може взяти на себе інший вузол, що забезпечує безперервність роботи мережі.

Основні характеристики топології «кільце» включають:

- одностороннє двоточкове підключення станцій з можливістю комбінування різних типів середовищ передачі;
- функціонування як розсувного регістра для обробки сигналів;
- використання детермінованих методів контролю доступу;
- підвищену стійкість до відмов вузлів і ліній зв'язку, яка досягається за допомогою мультиплексора MSAU, мостів або організацією подвійного кільця, що передбачає резервування двох протилежних кілець.

1.3 Еталонна модель ISO/OSI

Еталонна модель ISO/OSI (International Organization for Standardization / Open Systems Interconnection) була розроблена з метою стандартизації структури мережеских протоколів, а також апаратного і програмного забезпечення, які взаємодіють у мережі. Ця модель реалізована у вигляді семирівневої ієрархії, де кожен рівень виконує певні функції та надає визначений набір сервісів рівню, розташованому безпосередньо над ним – це так звана модель обслуговування рівнів (service access point) [3]. Сучасні мережескі архітектури і протоколи базуються саме на принципах цієї моделі.

Перші три рівні – фізичний, каналний і мережеский – є ключовими при розробці та реалізації комп'ютерних мереж.

Фізичний рівень відповідає за передачу окремих бітів по фізичному середовищу між вузлами. Його протоколи залежать від характеристик середовища передачі – електричних, оптичних, механічних або функціональних параметрів ліній зв'язку.

Канальний рівень оперує кадрами (фреймами) і забезпечує їх коректну доставку між вузлами в межах одного сегмента мережі. Він виконує функції синхронізації кадрів, контроль потоків, надійності передачі та управління доступом до спільного середовища.

Адресація на цьому рівні відбувається за допомогою фізичних локальних адрес (MAC-адрес). Канальний рівень містить два підрівні: MAC (Media Access Control), який керує фізичною адресацією і доступом до середовища, та LLC (Logical Link Control), що забезпечує логічну організацію передачі даних [3].

Мережеский рівень відповідає за маршрутизацію і доставку пакетів між будь-якими вузлами мережі, включаючи проходження через проміжні маршрутизатори. Він реалізує глобальну адресацію і оптимізацію маршрутів, що забезпечує ефективну передачу інформації в широкомасштабних мережах.

Транспортний рівень оперує сегментами або дейтаграмами і відповідає за встановлення логічного каналу між процесами на різних вузлах. Він адаптує характеристики передачі (надійність, порядок доставки, контроль потоку) відповідно до потреб конкретних додатків, підтримуючи як підключені (надійні), так і безпідключені (ненадійні) режими обміну.

Сесійний рівень забезпечує встановлення, підтримання та завершення сесій між комунікаційними додатками, а також виконує функції синхронізації та управління обміном даними.

Презентаційний рівень відповідає за форматування і трансформацію даних, забезпечує шифрування, стиснення і декомпресію, а також уніфіковане представлення інформації для верхніх рівнів.

Прикладний рівень надає користувачам мережі кінцеві сервіси й інтерфейси для роботи з мережею, реалізуючи протоколи, що забезпечують безпосередню взаємодію між додатками, такими як HTTP, FTP, SMTP та інші.

1.4 Архітектура TCP/IP

Архітектура TCP/IP є основним стандартом мережевого протоколу, який широко впроваджений і підтримується як користувачами, так і розробниками у всьому світі. На відміну від деяких інших моделей, стандарти TCP/IP є відкритими, доступними у вільному доступі, та мають гнучку структуру, що дозволяє їхню подальшу еволюцію та адаптацію під нові вимоги [3].

Архітектура формувалась і вдосконалювалась поступово, керуючись практичними потребами та сценаріями реального застосування, що забезпечило її стабільність і сумісність у глобальних мережах.

Основою цієї архітектури є два ключові протоколи: TCP (Transmission Control Protocol) – протокол керування передачею, який забезпечує надійний, орієнтований на встановлення з'єднання транспорт даних; та IP (Internet

Protocol) – протокол мережевого рівня, що відповідає за адресацію та маршрутизацію пакетів між вузлами мережі. Загальний набір протоколів TCP/IP організований у п'ять логічних рівнів, які виконують різні функції.

Фізичний рівень – відповідає за передачу необроблених бітових потоків через фізичне середовище передачі, включаючи різні типи кабелів та бездротові канали.

Канальний рівень – реалізує логічний доступ до фізичного середовища, забезпечує формування кадрів, виявлення і корекцію помилок на каналному рівні, а також управління доступом до середовища.

Мережевий рівень – здійснює маршрутизацію та адресацію IP-пакетів, визначає шляхи їх доставки між мережами, забезпечує фрагментацію і реасемблювання пакетів.

Транспортний рівень – надає механізми встановлення, підтримки і завершення логічних каналів зв'язку між процесами на кінцевих вузлах, забезпечує контроль цілісності даних, їхню упорядковану доставку та керування потоком. Основними протоколами є TCP (надійний, з встановленням з'єднання) та UDP (ненадійний, без встановлення з'єднання).

Прикладний рівень – включає мережеві сервіси та протоколи, які забезпечують взаємодію прикладних програм, такі як HTTP, FTP, SMTP, DNS та інші.

1.5 Середовище передачі

Розвиток топологій, стандартів та характеристик комп'ютерних мереж тісно пов'язаний із типами та властивостями середовищ передачі, що застосовуються для організації каналів зв'язку [4].

Одним із найпоширеніших кабельних середовищ є вита пара – кабель, що складається з декількох ізольованих провідників, скручених у пари з певними конструктивними параметрами. Ключовими характеристиками витої пари є діаметр провідника, кількість скручувань на метр (крок

скручування), а також схема розташування проводів у кабелі (пари або квартети). Ці параметри визначають електричні характеристики кабелю, такі як опір, ємність, індуктивність, а також ступінь впливу перешкод та перехресних наводок.

Залежно від конструкції розрізняють два основні типи витої пари: неекранована та екранована.

Неекранована вита пара (Unshielded Twisted Pair, UTP) – найбільш поширений тип кабелю, що не має додаткового захисту від електромагнітних завад. Пара провідників розташована в загальній зовнішній ізоляції (оболонці). Через відсутність екранування UTP кабелі більш чутливі до зовнішніх перешкод, але мають нижчу вартість і меншу вагу, що робить їх оптимальними для локальних мереж без інтенсивних джерел електромагнітного впливу.

Екранована вита пара (Shielded Twisted Pair, STP) – має додатковий екран (провідний шар), який обгортає кожну пару або весь кабель загалом (іноді виділяють варіанти ScTP – screened twisted pair, коли екранованою є лише зовнішня оболонка). Екран підключений до заземлення для зниження впливу електромагнітних завад і перешкод, що значно покращує параметри сигналу в шумному середовищі. Через це STP кабелі використовуються в умовах підвищеної електромагнітної активності, але є дорожчими та менш гнучкими в монтажі.

Таким чином, вибір між UTP та STP базується на оцінці рівня перешкод у середовищі та вимогах до якості передачі сигналу.

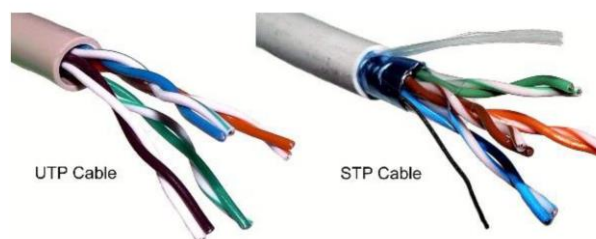


Рисунок 1.5 – Неекранована вита пара UTP та екранована вита пара STP

Волоконно-оптична кабельна технологія характеризується високою стійкістю до електромагнітних завад, що забезпечує безпомилкову передачу даних на відстані до кількох десятків кілометрів без необхідності в проміжних підсилювачах сигналу. Завдяки низьким втратам сигналу та високій пропускну здатності вона гарантує максимальний рівень інформаційної безпеки та надійності мережі.

Сьогодні оптоволоконні технології є стандартом для впровадження високошвидкісних магістральних та доступних мереж, що зумовлено не лише їхнім значним потенціалом пропускну здатності, але й довговічністю, компактністю кабелів і можливістю інтеграції з сучасними цифровими мережевими протоколами.

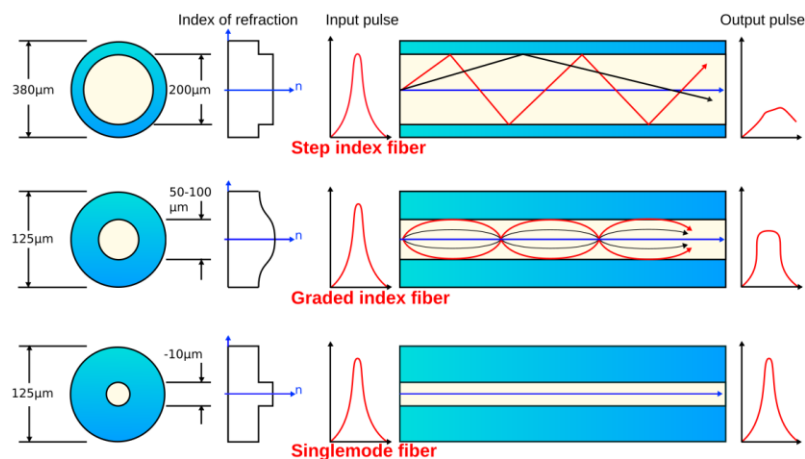


Рисунок 1.6 – Проходження світлового променя через оптичне волокно

Оптичне волокно функціонує за принципом повного внутрішнього відбиття світла на межі між середовищами з різними показниками заломлення: більш оптично щільним (з вищим показником) та менш щільним (з нижчим показником заломлення). Дисперсія визначає здатність системи розрізняти два послідовні сигнали, що надходять один за одним.

Затухання в оптичному волокні – це зниження інтенсивності світлового сигналу при проходженні між двома точками. Цей параметр є ключовим при проектуванні мережі, оскільки він обмежує максимальну довжину траси передачі.

Пропускна здатність волокна залежить від його типу: для багатомодового волокна (MMF) вона обмежена шириною смуги через модову дисперсію, тоді як одномодові волокна (SMF) характеризуються значно меншою дисперсією і більшою пропускною здатністю.

Числова апертура – це синус максимального кута, під яким світловий промінь може входити в серцевину волокна, визначаючи здатність захоплення світла.

Оптичне волокно застосовується для:

- міжміських телекомунікаційних ліній;
- міжконтинентального зв'язку, прокладеного залізничними коліями та під морським дном;
- міжнародного обміну даними;
- міжміських мереж передачі інформації;
- загальних користувацьких мереж.

За типом поширення світла оптичні волокна поділяють на одномодові та багатомодові.

Кабелі можуть мати щільний вторинний захист (волокно 125/250 мкм в оболонці 900 мкм) або вільний (волокно 125/250 мкм у трубіці діаметром 2–4 мм).

Одномодові волокна (SMF – Single Mode Fiber) мають вузький діаметр серцевини і забезпечують передачу сигналу в одному моді. Для їх освітлення використовують лазерні джерела, що підвищує вартість, але й збільшує дальність і пропускну здатність. Зазвичай SMF застосовують у мережах типу FTTx.

Багатомодові волокна (MMF – Multi Mode Fiber) мають більший діаметр серцевини (50 або 62,5 мкм), що дозволяє одночасно передавати кілька мод світла. Через модову дисперсію пропускна здатність таких волокон нижча, тому їх використовують для коротких відстаней. Світлові промені входять під різними кутами, відбиваються всередині волокна та поширюються за рахунок повного внутрішнього відбиття. Затухання для

багатомодових волокон складає від 5 до 10 дБ/км. Головним недоліком є модова дисперсія – різниця у часі проходження сигналів різними модами, що обмежує ширину смуги пропускання.

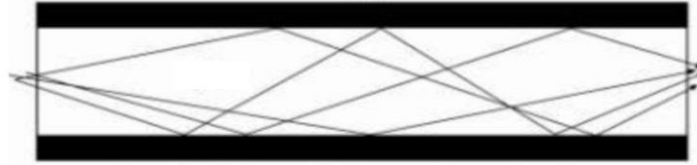


Рисунок 1.7 – Багатомодове волокно зі ступінчастою зміною показника заломлення

Градiєнтне волокно (graded-index) характеризується плавною зміною показника заломлення в середині волокна: він поступово зменшується від осі волокна до зовнішньої оболонки. Завдяки цьому світловий промінь при відбитті описує синусоїдальну траєкторію, що сприяє значному зменшенню модальної дисперсії.

Загасання у таких волокнах варіюється в межах від 0,85 до 5 дБ/км. Головною перевагою градiєнтного волокна є мінімізація дисперсії мод, що дозволяє знизити спотворення сигналу і забезпечує одночасне досягнення кінця волокна окремими модами, покращуючи тим самим якість передачі.

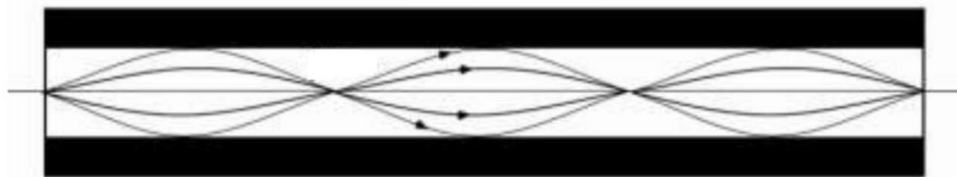


Рисунок 1.8 – Багатомодове волокно з плавною зміною показника заломлення

Для передавання світлового сигналу в оптичному волокні застосовують спеціалізовані світлові генератори. Електричний сигнал із даними конвертується в світловий промінь, який направляє у один кінець волокна. На протилежному кінці розташований фотодетектор – світлочутливий пристрій, який перетворює світло назад у електричний

сигнал. Як джерела світла застосовуються лазери та світлодіоди, а в ролі детекторів – фотодіоди та фототранзистори. У волоконно-оптичних системах використовують такі довжини хвиль:

- для багатомодового волокна – 850 нм та 1300 нм;
- для одномодового волокна – 1310 нм і 1550 нм.

Більшість оптичних пристроїв працюють у симплексному режимі, тобто можуть або передавати, або приймати сигнал. Для організації повної двонаправленої (дуплексної) передачі необхідно застосовувати два оптичні волокна, тому звичайно використовують дволінійні оптичні з'єднання.

Щодо оптичних з'єднувачів, то у цій галузі існує велика кількість різних стандартів, що призводить до проблем сумісності. Однак це обумовлено більш суворими вимогами до точності, продуктивності та надійності оптичних систем порівняно з мідними мережами. До появи стандарту EIA/TIA-568A найпоширенішими були роз'єми типів SMA та ST.

Під час підготовки оптичного кабелю до з'єднання потрібно зняти захисний шар, не пошкоджуючи при цьому саме волокно. Для видалення щільного вторинного захисту використовують спеціальні кліщі, які мають отвір відповідного діаметру.

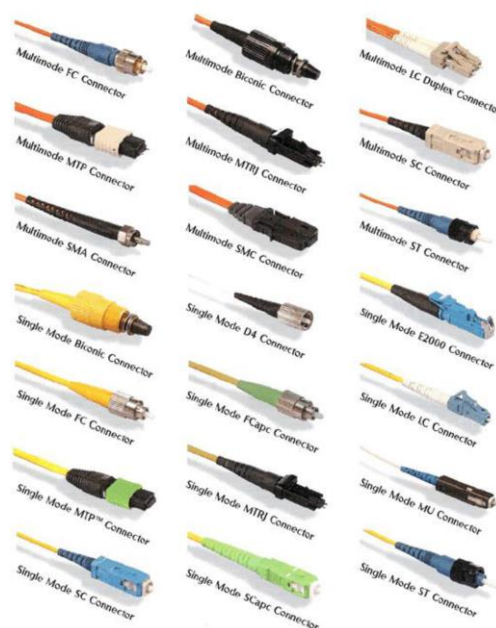


Рисунок 1.9 – Найпоширеніші типи оптичних з'єднувачів

Механічне з'єднання оптичних волокон здійснюється шляхом механічного обтиску (пресування) або прямого склеювання. Для кабелів із щільним вторинним захистом (сухі кабелі) можливе як запресування, так і приклеювання оптичного роз'єму. Однак для кабелів із слабким вторинним захистом (гелеві кабелі) не рекомендується безпосередньо притискати чи клеїти роз'єми, оскільки волокно не має механічного захисту, і вага конектора може пошкодити оптичне волокно. У таких випадках необхідно з'єднувати волокна за допомогою зварювання.

Існують декілька методів обробки кінців оптичних волокон:

- обтиск – застосування оптичного з'єднувача або механічної муфти;
- пряме з'єднання – вставлення волокна безпосередньо у наконечник з'єднувача, фіксація за допомогою склеювання, після чого виступаюча частина волокна згинається і шліфується;
- зварювання – кінці волокон «приварюються» один до одного за допомогою спеціального зварювального пристрою (наприклад, пігтейл – попередньо оброблений і закінчений оптичний з'єднувач із волокном).

Оптичний роз'єм має захисну конструкцію, що забезпечує коректну передачу оптичного сигналу від кінця волокна до роз'єму. Для надійного контакту вставлене волокно має бути механічно закріплене в оптичному з'єднанні. Аналогічним чином механічний оптичний з'єднувач фіксує волокна та забезпечує передачу сигналу між ними.

1.6 Оптична мережа доступу

Оптична мережа доступу – це інфраструктура розподілу телекомунікаційної мережі, яка забезпечує підключення кінцевих користувачів до загальної мережі шляхом передачі даних по оптичному волокну. Вона виступає проміжним рівнем між користувачем і провайдером послуг, надаючи високошвидкісний доступ до інтернету, голосових та інших сервісів.

Раніше оптичні технології застосовувалися переважно в магістральних та міських мережах, однак сьогодні їх використання у мережах доступу стає дедалі більш поширеним. Це пов'язано з привабливим співвідношенням ціна/продуктивність та великим потенціалом для масштабування пропускної здатності в майбутньому.

Для мультиплексування в оптичних мережах доступу використовуються кілька методів:

- поділ часу (TDM) – метод, при якому кілька сигналів об'єднуються для передачі по одній лінії зв'язку, кожен сигнал розбивається на короткі часові інтервали і послідовно передається. На приймальній стороні сигнал відновлюється за допомогою демультіплексора;

- поділ довжин хвиль (WDM) – кожен сигнал передається на окремій довжині хвилі світла, що дозволяє одночасно передавати кілька потоків даних через одне оптичне волокно без перешкод між ними.

Основне завдання оптичної мережі доступу – забезпечити двонаправлену (дуплексну) передачу даних. Для цього використовуються такі способи організації передачі сигналу:

- симплекс з поділом простору (SDM) – у кожному напрямку використовується окреме оптичне волокно;

- дуплекс з поділом довжин хвиль (WDM) – обидва напрямки передачі здійснюються по одному волокну, при цьому висхідний канал використовує довжину хвилі 1310 нм, а низхідний – 1490 нм;

- дуплекс з поділом частоти (FDM) – обидва напрямки передачі сигналів організовані через одне волокно, при цьому напрямки розділені за частотним спектром.

Такі методи забезпечують ефективне та надійне двонаправлене передавання даних в оптичних мережах доступу, відповідаючи сучасним вимогам телекомунікаційних систем.

2 ОПТИЧНА МЕРЕЖА ДОСТУПУ

Оптична мережа доступу (OAN, Optical Access Network) забезпечує широкосмугове підключення до телекомунікаційних послуг із використанням одного або кількох оптичних волокон.

Цей тип мережі забезпечує високошвидкісний зв'язок із глобальними мережами (WAN), найвідомішою з яких є Інтернет. Завдяки цьому провайдери можуть організовувати надійні канали передачі даних.

Оптичні мережі доступу не лише підтримують передачу даних, але й забезпечують трансляцію цифрового телебачення – як у стандартній чіткості (SDTV), так і в режимі високої чіткості (HDTV), а також надання телефонних послуг. Сукупне надання цих трьох видів сервісів реалізує концепцію Triple Play – інтегрованого пакету телекомунікаційних послуг. Хоча ця модель реалізується і в традиційних мережах доступу на основі телефонної або кабельної інфраструктури, їхні технічні характеристики поступово досягають межі можливостей фізичного середовища передавання [5].

У зв'язку з цим зростає актуальність впровадження оптичних мереж доступу безпосередньо до абонента. Зокрема, дедалі ширше застосовується концепція FTTH (Fiber To The Home), що передбачає підведення оптичного волокна безпосередньо до помешкання користувача.

2.1 Сучасні мережі доступу

Мережі доступу забезпечують агрегування трафіку з певної територіальної ділянки до вузлового елемента мережі, що має з'єднання з вищим рівнем ієрархії – як правило, із транспортною (магістральною) мережею. Цей сегмент телекомунікаційної інфраструктури, який з'єднує оператора зв'язку з кінцевим абонентом, часто називають «останньою милею» або, менш поширено, «першою милею».

Серед поширених технологій, що застосовуються в мережах доступу, можна виділити:

- DSL (цифрові абонентські лінії),
- CATV (кабельне телебачення) із використанням стандарту DOCSIS (Data Over Cable Service Interface Specification),
- Wi-Fi (бездротові локальні мережі),
- мобільні технології зв'язку.

Проте слід зазначити, що технології DSL і мобільного зв'язку зазвичай належать до сфери діяльності національних операторів і рідко застосовуються локальними провайдерами через обмеження в доступі до відповідної інфраструктури.

З урахуванням високих вимог до пропускної здатності, необхідної для надання сервісів Triple Play, технологія Wi-Fi також не є доцільною для реалізації мережі доступу.

Таким чином, серед оптимальних рішень для локальних провайдерів, які надають послуги широкопasmового доступу, найбільш прийнятною є архітектура на основі коаксіальної кабельної інфраструктури CATV із підтримкою стандарту DOCSIS.

2.2 Технологія FTTX

Мережі доступу, що об'єднуються під загальною аббревіатурою FTTX (Fiber To The X), являють собою рішення, побудовані на основі оптичного волокна. У цьому позначенні літера «X» вказує на конкретне місце розташування оптичного абонентського обладнання – ONU (Optical Network Unit) або ONT (Optical Network Termination) – у структурі мережі доступу.

По суті, термін FTTX описує ступінь наближення оптичного кабелю до кінцевого споживача. Він визначає, наскільки далеко оптичне волокно простягається від оптичного лінійного терміналу OLT (Optical Line Terminator), який зазвичай розміщується в головному вузлі провайдера [5].

Оптична ділянка мережі доступу, що простягається між OLT і ONU/ONT, називається ODN (Optical Distribution Network).

Існує значна кількість варіантів реалізації архітектури FTTH, які різняться залежно від ступеня проникнення оптичного середовища у мережу доступу. Частина з них має переважно теоретичне значення або не демонструє суттєвих технічних відмінностей між собою (рисунок 2.1).

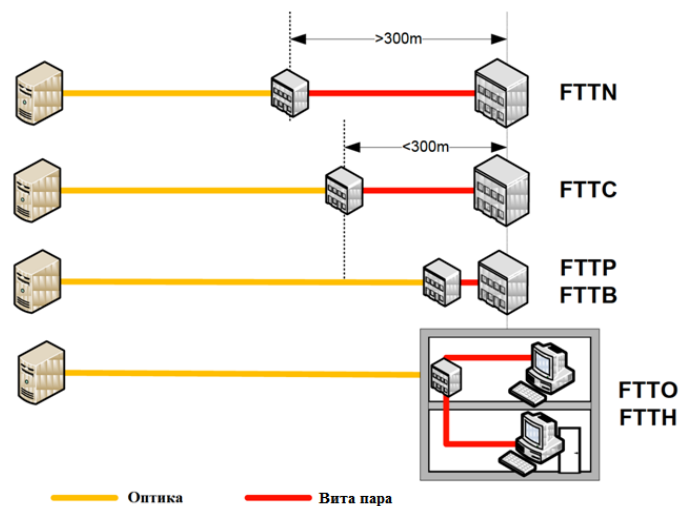


Рисунок 2.1 – Оптичні мережі доступу FTTH

З огляду на особливості побудови оптичних мереж доступу, доцільно розглянути попередні рішення, що передували впровадженню FTTH. До таких належать архітектури FTTN, FTTC та FTTB, які реалізують часткове проникнення оптичного середовища у мережу доступу:

FTTN (Fiber To The Node) – оптичне волокно підводиться до розподільчих вузлів або вуличних шаф, від яких до абонентів сигнал передається за допомогою мідних кабелів. Один вузол може обслуговувати велику кількість (до кількох тисяч) абонентів.

FTTC (Fiber To The Curb) – оптоволокно доходить до вуличного комутатора, розташованого поблизу кінцевих користувачів, а подальше з'єднання до абонентів також здійснюється через мідні лінії, однак на коротші відстані, ніж у випадку FTTN.

FTTB (Fiber To The Building) – оптичний кабель підводиться до технічного приміщення будівлі, де здійснюється підключення до внутрішньої мережі будинку. Кінцеві абоненти при цьому під'єднуються через локальну кабельну інфраструктуру.

Окрім вищезгаданих, також виділяють інші модифікації архітектури FTTx:

- FTTH (Fiber To The Home) – оптичне волокно прокладається безпосередньо до абонентської розетки у приміщенні кінцевого користувача, що забезпечує максимально можливу якість та швидкість передачі даних.

- FTTP (Fiber To The Premises) – узагальнений термін, який охоплює як FTTH, так і FTTB: оптоволокно може бути доведене як безпосередньо до житлового приміщення, так і до будівлі з подальшим підключенням через локальну мережу.

- FTTO (Fiber To The Office) – оптичне волокно підводиться безпосередньо до робочого місця, забезпечуючи підключення до комп'ютерного інтерфейсу.

- FTTCab (Fiber To The Cabinet) – волоконно-оптична лінія закінчується в розподільчій шафі, розташованій поблизу споживача, що є варіантом реалізації для абонентів із підвищеними вимогами до пропускної здатності.

Щодо мережі FTTH, варто зазначити, що хоча її часто інтерпретують як «оптика в будинок», точніше буде говорити про підведення оптичного волокна безпосередньо до помешкання кінцевого споживача.

2.3 Активна оптична мережа

Активна оптична мережа (AON, Active Optical Network) належить до класу мереж доступу, в яких по всьому тракту від центрального офісу оператора (ЦО) до абонентської розетки кінцевого користувача не використовуються пасивні оптичні розгалужувачі або об'єднувачі сигналу.

Замість цього в архітектурі AON задіяні активні компоненти, що виконують функції комутації та маршрутизації трафіку [5].

Такі активні мережеві пристрої розміщуються на проміжних вузлах мережі – у розподільчих центрах, вуличних шафах, а також на стороні абонента. Це вимагає обов'язкового врахування систем живлення для кожного активного елемента, що є критично важливим аспектом проектування таких мереж.

Мережа AON, як правило, базується на топології «точка-точка» (P2P), у якій кожен абонент має індивідуальне з'єднання з найближчим активним вузлом – комутатором доступу. На стороні користувача для підключення до послуг Triple Play використовується пристрій CPE (Customer Premises Equipment), що виконує роль домашнього шлюзу.

Якщо розглядати AON з точки зору загальної структури мережі доступу, її архітектура зазвичай має зіркоподібну топологію з ієрархічною побудовою – від рівня доступу до рівнів агрегації вищого порядку (рисунок 2.2). Така структура передбачає кілька рівнів комутації, кількість яких залежить від масштабів мережі та загальної кількості абонентських підключень. Переважна більшість активних оптичних мереж реалізується з використанням технології Ethernet, що забезпечує високу пропускну здатність і масштабованість [6].

Приєднання кінцевого обладнання CPE до комутатора доступу, розташованого у центральному офісі або локальному вузлі зв'язку, може бути реалізоване різними способами залежно від архітектури конкретної мережі (рисунок 2.3).

Існує кілька варіантів реалізації фізичного з'єднання між абонентським пристроєм CPE та комутатором доступу у мережі AON.

Перший варіант передбачає використання пари оптичних волокон, кожне з яких призначене для окремого напрямку передачі: одне — для висхідного каналу (uplink), інше – для низхідного каналу (downlink). Такий підхід забезпечує повне фізичне розділення потоків трафіку.

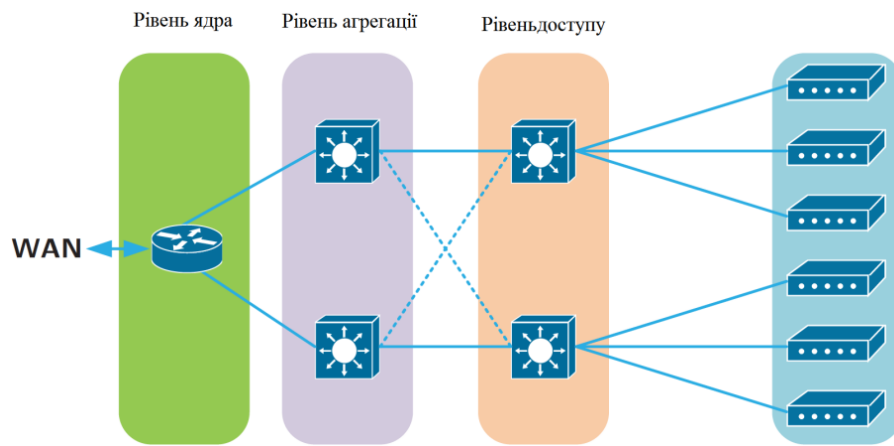


Рисунок 2.2 – Трирівнева модель для AON

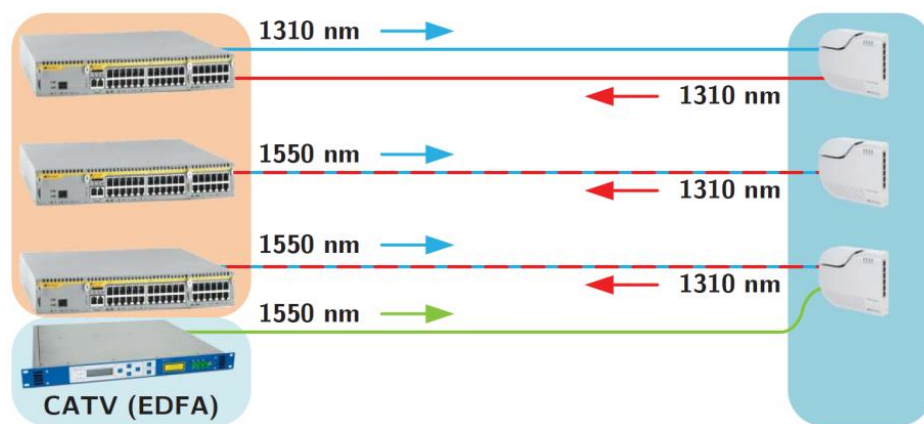


Рисунок 2.3 – AON - з'єднання комутатора доступу та CPE

Другий варіант базується на використанні одного оптичного волокна для одночасної передачі даних у двох напрямках. Це досягається завдяки застосуванню технології WDM (Wavelength Division Multiplexing), яка забезпечує розділення сигналів за довжиною хвилі – для uplink та downlink використовуються різні діапазони.

Третій варіант є розширенням другого, при якому до базової схеми на основі одного волокна додається пасивна оптична мережа (PON) для односторонньої передачі телевізійного сигналу.

У цьому випадку застосовується симплексна передача сигналів CATV, зокрема у форматах DVB-C, DVB-T, DVB-S або в аналоговому форматі. Таке рішення виступає альтернативою IPTV, яке використовується в перших двох варіантах.

2.4 Ethernet у першій милі (EFM)

Архітектура Ethernet у першій милі (EFM, Ethernet in the First Mile) була стандартизована Інститутом інженерів з електротехніки та електроніки (IEEE) у 2004 році як частина специфікації IEEE 802.3ah. Основною метою створення цього стандарту було забезпечення можливості застосування Ethernet на рівні мереж доступу, що дозволяє спростити інфраструктуру та уніфікувати її з локальними мережами (LAN), де Ethernet уже є домінуючою технологією. Частина специфікації EFM, яка стосується оптичного середовища, позначається терміном EFMF (Ethernet in the First Mile Fiber).

2.4.1 100BASE-LX10

Цей фізичний інтерфейс реалізує точка-точка (P2P) з'єднання Ethernet зі швидкістю 100 Мбіт/с на відстань до 10 км з використанням пари одномодових волокон (SMF) – окремо для кожного напрямку передавання (uplink/downlink).

2.4.2 100BASE-BX10

У цьому варіанті реалізовано P2P-з'єднання на швидкості 100 Мбіт/с на відстані до 10 км з використанням одного одномодового волокна (SMF). Передача у двох напрямках здійснюється одночасно, з використанням технології WDM (розділення за довжиною хвилі для uplink і downlink).

2.4.3 1000BASE-LX10

Цей інтерфейс забезпечує гігабітне Ethernet-з'єднання (1000 Мбіт/с) у режимі точка-точка на відстань до 10 км через пару одномодових волокон (SMF).

Як альтернатива, можливе використання пари багатомодових волокон (MMF) на відстані до 550 м, однак така реалізація застосовується здебільшого в межах кампусних мереж або серверних кімнат.

2.4.4 1000BASE-BX10

У цьому випадку також реалізується гігабітне P2P-з'єднання Ethernet на відстані до 10 км, але по одному одномодовому волокну (SMF) з одночасною роботою висхідного та низхідного каналів завдяки WDM-мультиплексуванню.

2.5 10GE (10 Gigabit Ethernet)

Архітектура мережі 10 Gigabit Ethernet (10GE) була стандартизована у 2002 році в рамках специфікації IEEE 802.3ae. Її впровадження передбачає використання активної оптичної мережі, повністю побудованої на базі Ethernet, що підтримує лише повнодуплексний режим з'єднання «точка-точка» зі швидкістю 10 Гбіт/с – окремо для висхідного та низхідного напрямків [7]. Стандарт передбачає два типи фізичних рівнів:

- для LAN-сегментів, орієнтованих на роботу в межах локальних мереж (з використанням традиційного Ethernet-кодування);
- для WAN-сегментів, адаптованих до синхронних мереж передачі SDH/SONET (рівень STM-64 зі швидкістю 9,58 Гбіт/с).

-

2.5.1 10GBASE-SR

Інтерфейс 10GBASE-SR забезпечує P2P-з'єднання Ethernet на швидкості 10 Гбіт/с на відстані до 300 метрів з використанням пари багатомодових волокон (MMF) – по одному волокну на кожен напрямок передачі.

2.5.2 10GBASE-LR

Інтерфейс 10GBASE-LR забезпечує гігабітне з'єднання зі швидкістю 10 Гбіт/с на відстані до 10 км, використовуючи пару одномодових волокон (SMF) – окремо для uplink та downlink.

2.5.3 10GBASE-ER

Цей фізичний рівень реалізує довготривале з'єднання Ethernet на швидкості 10 Гбіт/с з досягненням відстані до 40–42,5 км через пару одномодових волокон (SMF). Для забезпечення стабільної роботи на відстанях понад 30 км необхідно дотримуватись вимог до ліній передачі, викладених у стандарті IEEE 802.

2.5.4 10GBASE-LX4

Інтерфейс 10GBASE-LX4 також забезпечує 10-гігабітне з'єднання у форматі P2P, яке може функціонувати як через одномодове волокно (SMF) (до 10 км), так і через багатомодове волокно (MMF) (до 300 м). Основна особливість цієї реалізації – застосування технології WDM (Wide Wavelength Division Multiplexing) для обох напрямків передачі, що дозволяє знизити швидкість модуляції окремих каналів без зменшення загальної пропускної здатності лінії.

3 ПРОЕКТУВАННЯ ОПТОВОЛОКОННОЇ МЕРЕЖІ УСТАНОВИ

3.1 Застосування технології в умовах міста

Використання технології оптичних волокон у міських мережах надає провайдерам значну гнучкість, що дозволяє ефективно обслуговувати різноманітні сегменти ринку. Завдяки прозорості оптичної передачі можливо підтримувати локальні з'єднання за стандартними протоколами, такими як IP чи Ethernet. Розширення мережі в міських умовах є відносно економічним, адже обладнання для коротких ліній значно дешевше та простіше у порівнянні з комплексними системами для довгих магістральних ліній.

Втім, не можна стверджувати, що системи для міських мереж завжди простіші за свої аналоги на великих відстанях. Для локальних мереж пріоритетом є саме гнучкість, яка забезпечує підтримку максимальної кількості конфігурацій із мінімальною залежністю від конкретних протоколів передачі. Важливу роль відіграють також сучасні засоби управління, що мають забезпечувати швидке, зручне та економічне впровадження цієї гнучкості. Незважаючи на порівняно невелику довжину ліній у міських системах, часто використовується лінійне оптичне підсилення, найчастіше – EDFA. Оскільки наявність або відсутність таких підсилювачів суттєво впливає на вартість мережі, міські DWDM-системи умовно поділяють на дві категорії: магістральні (міжофісні) мережі та мережі доступу.

Магістральні лінії, як правило, мають довжину понад 50 км і супроводжуються типовими для таких відстаней оптичними та технічними обмеженнями. Водночас вони зберігають високі вимоги до гнучкості, оскільки часто використовуються для надання провайдерами високоякісних сервісів. Хоча магістральні лінії потребують лінійних підсилювачів, їх експлуатація на низьких швидкостях передачі може бути досить економічною, що позитивно впливає на загальну вартість систем.

Короткі лінії у міських мережах доступу мають низку переваг. Через відсутність потреби в EDFA такі мережі значно дешевші у впровадженні. Відсутність підсилювачів знижує суворі вимоги до параметрів сигналу, зокрема до точності довжини хвилі, що спрощує вибір, тестування та технічну підтримку оптичних компонентів. Однак для цих компонентів інші види втрат можуть мати більший вплив.

Крім того, у відсутність EDFA зменшується ризик виникнення нелінійних ефектів у волокні та компонентах системи. Це також дає можливість збільшити кількість каналів або розширити відстань між ними, використовуючи довжини хвиль за межами робочого діапазону підсилювачів, що дозволяє ще більше знизити вимоги до якості окремих компонентів. Через свою простоту конфігурації та комплектування обладнання мережі доступу у міських умовах суттєво відрізняються від магістральних мереж великої протяжності.

3.2 Варіанти побудови комп'ютерної мережі

Мета проекту – створення розподіленої оптичної комп'ютерної мережі підприємства, розташованої в межах окремого міського мікрорайону. Відомо, що в цьому мікрорайоні до кожного будинку прокладена мережа підземних комунікацій, тому топологія мережі задана жорстко і не завжди оптимальна для побудови Ethernet-мережі через великі витрати оптоволокна. Через обмеження експлуатації, встановлення активного обладнання в тунелях заборонено – дозволяється лише монтаж з'єднувальних муфт.

Першочергова задача – створення надійного базового каркасу (скелету) майбутньої мережі, а також визначення принципів ідеології, якими мережа керуватиметься впродовж наступних років розвитку.

Відомо, що оптимальна практика проектування подібних мереж передбачає мінімізацію довжини ланцюгів із активним обладнанням, стандартизацію використовуваних комутаторів та пріоритет на економічність

кабельної інфраструктури, оскільки витрати на кабелі значно менші, ніж подальше обслуговування та експлуатація мережевих комунікацій.

У спрощеному вигляді мікрорайон можна поділити на кілька квартальних секторів, кожен з яких забезпечений комунікаційною каналізацією, що підходить до кожного будинку (позначено тонкими чорними лініями). Магістральний кільцевий тунель, що охоплює чотири квартали (рисунок 3.1), підключений через комутатор до оптоволоконної магістралі за допомогою кабелю, що містить 16 оптичних волокон.

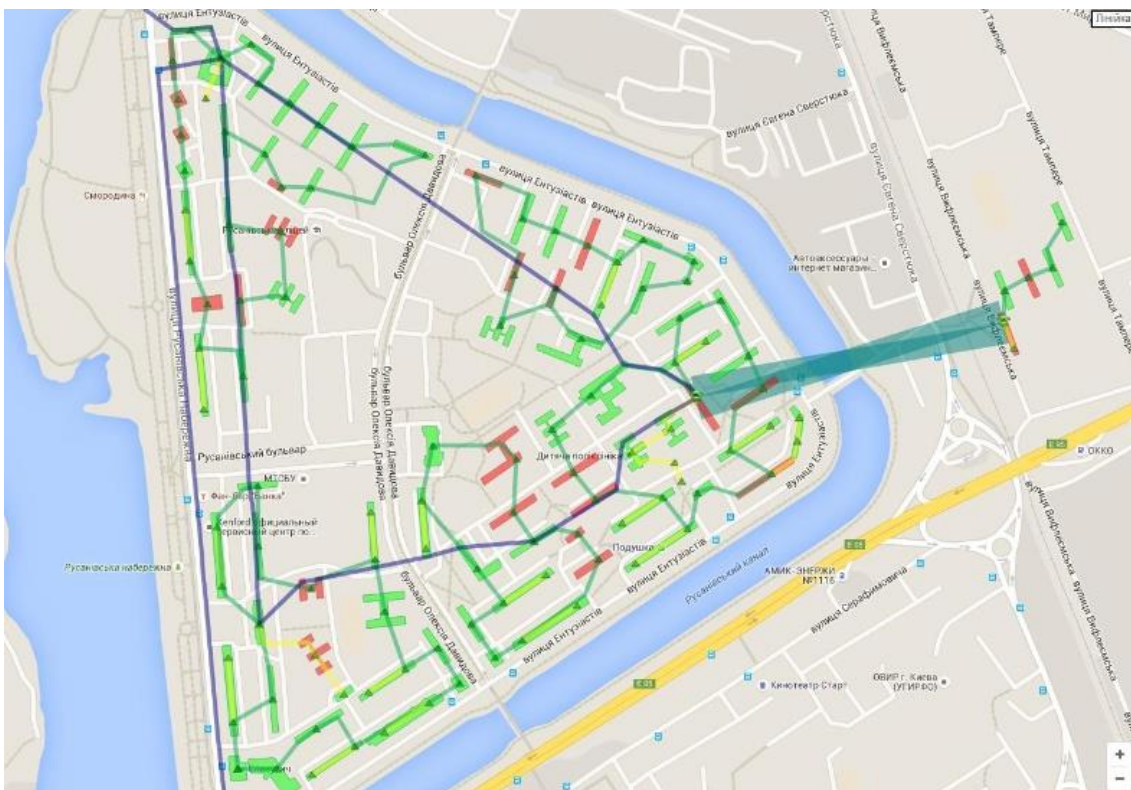


Рисунок 3.1 – Схема мережі провайдера в мікрорайоні

Оптичні кабелі, що виконують функцію магістральної лінії, прокладаються через кабельну каналізацію (рисунок 3.2). У різних точках цієї магістралі, у господарських приміщеннях деяких будинків, розміщуються магістральні комутатори у спеціальних антивандальних шафах. Від них здійснюються внутрішньоквартальні з'єднання за транковою схемою, що передбачає передачу по 4 волокнах із швидкістю 10 Гігабіт на секунду кожне (10 GE).

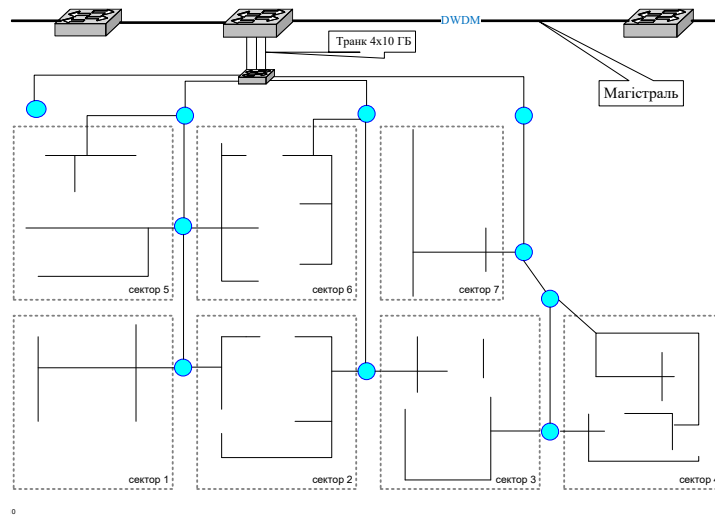


Рисунок 3.2 – Схема підключення внутрішньоквартальних комутаторів

Лінії, позначені на рисунку 3.3 пунктиром, відповідають додатковим (резервним) оптичним кабелям. Їх прокладання не є обов'язковим для нормального функціонування мережі, проте є малозатратним і суттєво підвищує загальну надійність системи. У звичайному режимі ці з'єднання відключені за допомогою протоколу STP (Spanning Tree Protocol) для запобігання петлям у мережі. Проте у випадку пошкодження основної магістралі (наприклад, при обриві кабелю), топологія автоматично змінюється: зіркоподібна структура переходить у кільцеву, і мережа продовжує стабільно функціонувати без втрати зв'язку.

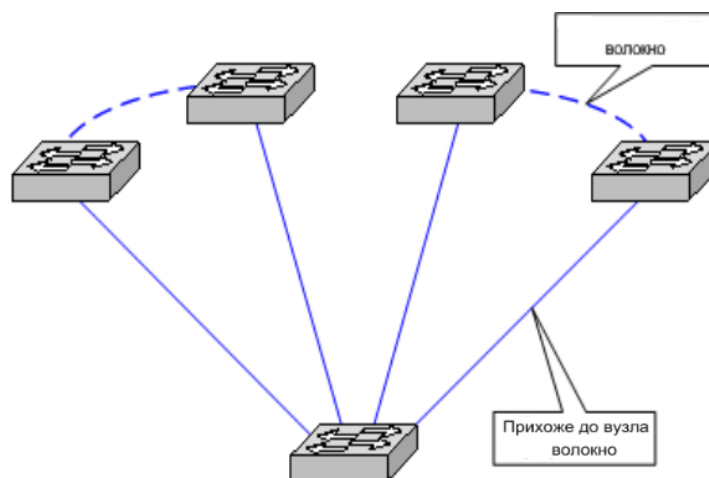


Рисунок 3.3 – З'єднання комутаторів в «пелюстки»

По магістральному тунелю мікрорайону прокладається кільцевий оптичний кабель, на базі якого реалізується 10-гігабітний мережевий бекбон (ядро мережі), що включає три основні вузли (див. рисунок 3.4). До кожного з вузлів підводяться волоконно-оптичні лінії зв'язку від усіх житлових будинків, що входять у відповідний сектор обслуговування. Середня кількість будинків у секторі становить близько 40–60, і до кожного вузла під'єднується по 3 кабелі по 24 волокна.

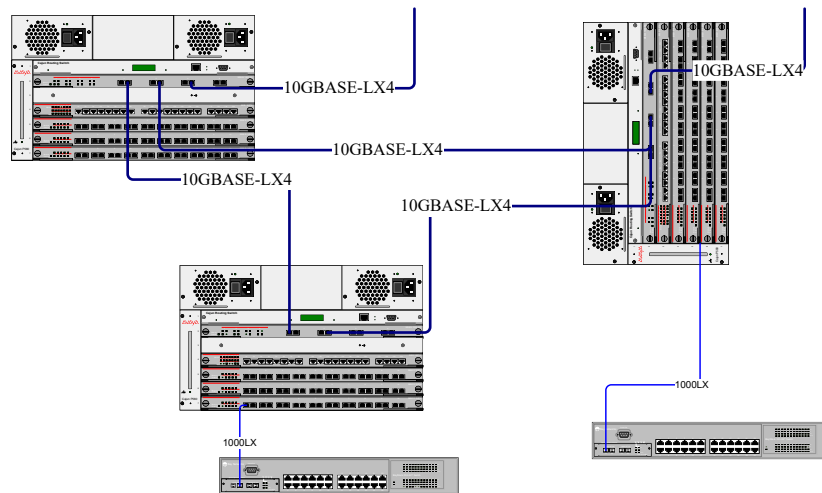


Рисунок 3.4 – «Кільце» з комутаторів в класичному варіанті

Внутрішньоквартальні комутатори, у свою чергу, підключені до внутрішньобудинкових оптичних комутаторів за допомогою оптоволоконних ліній зі швидкістю передачі даних 10 Гбіт/с (рисунок 3.5).

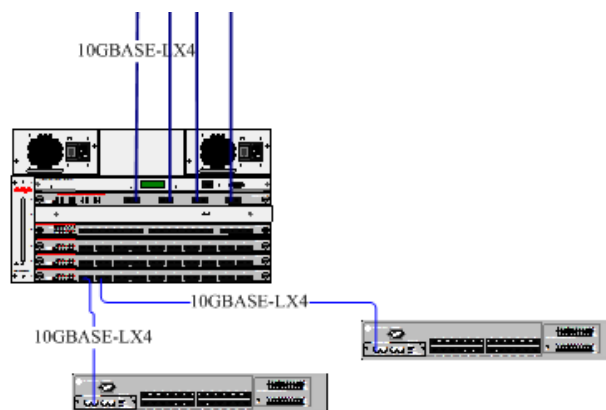


Рисунок 3.5 – Підключення внутрішньобудинкових оптичних комутаторів

3.3 Вибір обладнання мережі провайдера

3.3.1 Магістральний комутатор



Рисунок 3.6 – Комутатор Juniper QFX10002

Комутатори Juniper QFX10002 розроблені для великих віртуальних і хмарних дата-центрів, забезпечуючи високу щільність портів 10GbE та 40GbE (рисунок 3.6). Особливістю цих пристроїв є «зелений» підхід – знижене енергоспоживання на порт, що у поєднанні з великою щільністю портів дозволяє знизити загальну вартість володіння мережею.

Завдяки великій масштабованості, Juniper QFX10002 пропонує пропускну здатність 2,56 Тбіт/с на слот і сумарну комутуючу ємність понад 20 Тбіт/с. Одне шасі може містити до 768 портів 10GbE або 192 порти 40GbE, при цьому пристрій має компактні розміри – 14,5 RU, що становить приблизно третину стандартного рек-формату.

Комутатор поставляється у вигляді «все-в-одному» рішення, що дозволяє замінити дорогі багатокоробкові й багаторівневі системи, усуваючи проблеми з міжпристрійною взаємодією, пропускну здатністю каналів і простим обладнанням.

Juniper QFX10002 підтримує автоматичний моніторинг і звітування про стан до 128 тисяч віртуальних машин. За допомогою мережевої віртуалізації XNV (ExtremeXOS Network Virtualization) комутатор безконтактно переносить профілі віртуальних портів (VPP), що суттєво спрощує розгортання та подальшу експлуатацію мережі.

3.3.2 Оптична платформа OptiX OSN 8800



Рисунок 3.7 – Оптична платформа OptiX OSN 8800

Проаналізувавши сучасні промислові системи хвильового ущільнення, технічних характеристик ключових елементів обладнання WDM, а також співвідношення ціни та якості, було обрано рішення компанії Huawei Technologies – надійного постачальника, який добре зарекомендував себе на українському ринку. Оптична платформа передачі наступного покоління OptiX OSN 8800 є інтелектуальним рішенням, розробленим компанією Huawei (рисунок 3.7).

Основною сферою застосування OptiX OSN 8800 є ядро магістральних мереж, проте платформа також підходить для використання в ядрах міських мереж і на рівні конвергенції. У поєднанні з обладнанням серій OptiX OSN 6800 та OSN 3800, OptiX OSN 8800 дозволяє будувати повноцінні мережі OTN, а спільно з OptiX BWS 1600G або OptiX Metro 6100 – реалізовувати WDM-мережі.

Платформа забезпечує транспортування, диспетчеризацію та захист великих обсягів трафіку, тому її часто використовують на центральних сервісних вузлах національних, регіональних і міських магістральних мереж.

OptiX OSN 8800 гарантує операторам стабільну мультисервісну платформу з можливістю масштабування ємності у майбутньому. Використання технології щільного хвильового мультиплексування (DWDM) дозволяє забезпечити прозору передачу багатьох сервісів із високою пропускнуою здатністю.

Платформа підтримує диспетчеризацію послуг як на рівні спектральних каналів за технологією ROADM, так і на рівні окремих спектральних каналів із застосуванням ODU2/ODU1/ODU0, що значно підвищує гнучкість управління сервісами і ефективність використання пропускнуої здатності.

Крос-комутуюча здатність OptiX OSN 8800 становить 2,56 Тбіт/с із можливістю розширення до 5,12 Тбіт/с, що забезпечує гнучкість і оптимізацію використання довжини хвилі у відповідь на зростаючі вимоги до пропускнуої здатності. Широкий функціонал платформи включає підтримку VC-x (віртуального контейнера) та ODUk (оптичного блоку даних), що дозволяє розвантажити магістральні мережі, збільшити їх пропускну здатність, оптимізувати сервіси та надавати змішані широкосмугові послуги.

Реалізація функціоналу ASON на оптичному і електричному рівнях підвищує надійність передачі (до 99,999%) і допомагає знизити експлуатаційні витрати. Обладнання OptiX OSN 8800 є перспективним рішенням, що підтримує передачу з ємністю 40 GbE та планує підтримку 100 GbE у найближчому майбутньому. Платформа є логічним продовженням продуктової лінійки New Generation DWDM.

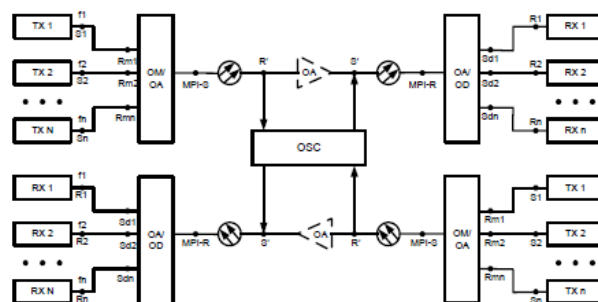


Рисунок 3.8 – Схема системи OptiX OSN 8800 при застосуванні C – діапазону

На рисунку 3.8 використано такі умовні позначення:

- TX – передавальний транспондер;
- RX1 – приймальний транспондер;
- OM/OA – блок оптичного мультиплексування / оптичного підсилення;
- OA/OD – блок попереднього оптичного підсилення / оптичного демультимплексування;
- OA – лінійний оптичний підсилювач;
- OSC – оптичний службовий канал;
- S1 ... Sn – еталонні точки на оптичному волокні біля вихідних оптичних роз'ємів (OP) передавачів для каналів 1 ... n;
- Rm1 ... Rmn – еталонні точки на оптичному волокні безпосередньо перед вхідним з'єднувальним роз'ємом (ЗР) блоку OM/OA для каналів 1 ... n;
- MPI-S (інтерфейс основного тракту на стороні передавача) – еталонна точка на оптичному волокні безпосередньо за вхідним OP блоку OM/OA;
- S – еталонна точка на оптичному волокні відразу після вихідного OP лінійного оптичного підсилювача;
- R – еталонна точка безпосередньо перед вхідним ЗР лінійного оптичного підсилювача;
- MPI-R (інтерфейс основного тракту на стороні приймача) – еталонна точка на оптичному волокні перед вхідним ЗР блоку OA/OD;
- Sd1 ... Sdn – еталонні точки біля вихідних ЗР блоку OA/OD для каналів 1 ... n;
- R1 ... Rn – еталонні точки біля вхідних ЗР приймачів для каналів 1 ... n відповідно.

Оптичний мультиплексор введення/виведення каналів призначений для організації до 16 каналів у магістральному оптичному тракті за допомогою каскадного з'єднання плат типу MR2, що виконують функції OADM (оптичного мультиплексора з функцією вставки/виділення) та здатні

обробляти до двох каналів рівня STM-256 кожна. Транзитні канали, які не виділяються або не додаються, проходять крізь станцію з посиленням, і таким чином станція одночасно виконує функції оптичного підсилення та мультиплексування введення/виведення.

Устаткування також дозволяє виконувати зрівнювання потужностей між уже існуючими та новододаними каналами, що необхідно для забезпечення рівномірної потужності по всьому спектру у межах основного потоку.

Типова структура мультиплексора введення/виведення каналів включає:

- блоки оптичного підсилення (OAU, OBU/OBU),
- плати MR2 (для вставки/виділення каналів),
- модулі компенсації дисперсії (DCM),
- оптичні транспондери (OTU),
- блоки оптичного інтерфейсу (FIU),
- канали керування (SC2/TC2),
- блок управління і зв'язку (SCC).

Оптична платформа Huawei OptiX OSN 8800 побудована за модульним принципом: функціональні елементи представлені у вигляді монтажних плат, які встановлюються в підстативи, а ті, своєю чергою – у стандартні стативи. Один статив вміщує до трьох підстативів. Така конструкція забезпечує гнучкість конфігурування під конкретні завдання.

Основні типи обладнання, які можна реалізувати за допомогою монтажних плат:

- OADM (оптичний мультиплексор введення/виведення),
- OTM (оптичний термінальний мультиплексор/демультиплексор),
- OLA (лінійний оптичний підсилювач),
- REG (оптичний регенератор).

OptiX OSN 8800 не має обмежень щодо типу оптичного волокна – підтримується передача по G.652, G.654, G.655, а також частково по G.653.

Конфігурації каналів: 40-канальна система DWDM та 80-канальна система DWDM з інтервалом 50 ГГц між каналами.

Поточна пропускна здатність: до 40 Гбіт/с на канал. Перспективна пропускна здатність: до 100 Гбіт/с на канал у майбутніх реалізаціях.

OptiX OSN 8800 може використовуватися в різноманітних топологіях: точка-точка, ланцюгова, кільцева або комбінована. Сумісність з іншими рішеннями на базі WDM або SDH/SONET дозволяє гнучко інтегрувати систему в міські мережі. Завдяки підтримці крос-комутації та грумінгу сигналів рівнів ODU1/ODU2 з пропускною здатністю до 2,56 Тбіт/с, досягається висока ефективність використання спектральних ресурсів та оптимізація обробки трафіку.

Для агрегування до 40 клієнтських каналів у відповідності до ІТУ-Т використовується мультиплексорна плата М40. Вона підтримує онлайн-моніторинг оптичних характеристик і контроль робочих та аварійних повідомлень. Її конструкція дозволяє інтегруватися у загальну архітектуру системи, забезпечуючи ефективну передачу послуг різного типу – від Ethernet і OTN до SDH, відео та зберігання даних.

На рисунку 3.9 наведено зображення фронтальної панелі плати.

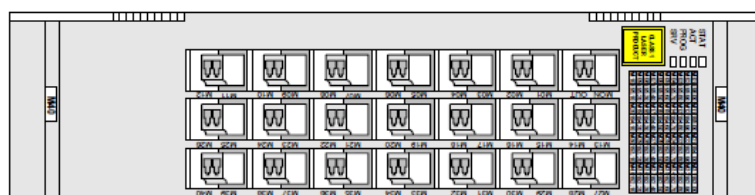


Рисунок 3.9 – Фронтальна панель плати М40

3.3.3 Комутатор рівня кварталу EX4500-40F-BF-C

Комутатори серії EX4500 від Juniper поєднують у собі надійність модульних рішень і гнучкість стекових систем завдяки використанню технології «віртуального шасі». Вони призначені для високопродуктивного масштабованого використання в дата-центрах та кампусних мережах.

У світлі нових тенденцій – таких як інтеграція сервісів, безперервна робота, масштабованість, підтримка IPv6 – до мережевої інфраструктури висуваються нові вимоги. Сучасні комутатори оцінюються не лише за продуктивністю, але й за рівнем надійності, можливістю нарощування, якістю сервісу (QoS) та, що важливо, – загальною вартістю володіння (TCO).

EX4500 відзначається стабільною роботою за всіма цими критеріями, дозволяючи створити мережеву інфраструктуру з перспективою подальшого розширення і високим рівнем продуктивності. Архітектура цих пристроїв враховує останні інновації в галузі Ethernet-комутаторів, гарантує відмовостійкість систем і підтримку необхідних мережевих сервісів.

Завдяки модульному підходу, реалізується побудова магістрального рівня або рівня агрегації без виходу за межі однієї серії пристроїв. Комутатори EX4500 можуть ефективно виконувати роль ядра корпоративної мережі, а також застосовуватись в операторських інфраструктурах, системах збору та обробки даних, високопродуктивних обчислювальних середовищах.

Пристрої цієї серії розраховані на безперервну експлуатацію. Вони підтримують резервування модулів управління в конфігурації 1:1, процесорних модулів і вентиляторів – у режимі N+1, блоків живлення – у схемі N+M. Усі апаратні компоненти підтримують «гарячу» заміну. Додатково забезпечується оновлення ПЗ без зупинки рівня L2 і «теплий» перезапуск протоколів BGP і OSPF (рисунки 3.10 та 3.11).

Архітектура BigIron RX, на якій базується пристрій, побудована на основі схеми CLOS із віртуалізацією вихідних черг. Вона гарантує заблоковану комутацію з мінімальними затримками для пакетів будь-якої довжини. Пропускна здатність EX4500 сягає понад 2 мільярдів пакетів за секунду, що ставить його серед лідерів на ринку комутаторів корпоративного рівня.

Основні характеристики:

- 4 порти 10GbE XFP;
- 16 портів 10GbE SFP+ із перепідпискою;

- 24 порти 1GbE SFP;
- 24 порти 10/100/1000 BaseT;
- 48 портів 10/100/1000 через інтерфейс MRJ-21 (8x);
- підтримка до 2 мільйонів BGP-маршрутів і до 256 сесій BGP у RIB за допомогою модуля MR2;
- підтримка до 400 тисяч IPv4-маршрутів через OSPF;
- реалізація резервування на базі VRRP і вдосконаленого протоколу VRRPE.



Рисунок 3.10 – Комутатор Juniper EX4500-40F-BF-C



Рисунок 3.11 – Модуль Brocade RX-BI24HF

Оптичні модулі DWDM типу SNR-XFP-D60-40 призначені для генерації сигналів із довжинами хвиль, що відповідають частотам основної несучої в межах спектру від 1528,77 нм до 1564,68 нм. Вони виготовляються у найпоширеніших форм-факторах – SFP, SFP+, XFP, X2, і встановлюються в активне мережеве обладнання, таке як комутатори, мультиплексори, шлюзи, медіаконвертери, транспондери тощо.

Для реалізації каналів на базі технології DWDM необхідна наявність оптичного мультиплексора, який на передавальній стороні об'єднує (мультиплексує) сигнали з кількох модулів, а на приймальній – розділяє (демультиплексує) їх. У випадках побудови магістральних DWDM-мереж із

відстанями понад 100 км між вузлами, через перевищення бюджету потужності трансиверів необхідно додатково використовувати оптичні підсилювачі EDFA та компенсатори дисперсії DCM.

Модулі DWDM обладнані DFB-лазерами з розподіленим зворотним зв'язком, які забезпечують стабільність частоти випромінювання. Завдяки цьому можна реалізовувати оптичні канали без застосування дорогих DWDM-транспондерів.

Для організації каналів передачі рівня STM-16 SDH або Gigabit Ethernet використовуються SFP-модулі DWDM, тоді як для STM-64 або 10Gigabit Ethernet – відповідно XFP-модулі DWDM (рисунок 3.12).



Рисунок 3.12 – SNR-XFP-D60-40

Модулі підтримують цифрову діагностику, що забезпечує моніторинг робочих параметрів пристрою в режимі реального часу. Зокрема, відстежуються: температура, струм лазера, рівень випромінюваної та прийнятої оптичної потужності, а також напруга живлення.

Реалізовано систему сигналізації, яка повідомляє про вихід будь-якого з параметрів за межі допустимих значень, що дозволяє забезпечити своєчасне обслуговування та високу надійність мережі.

ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній роботі було спроектовано комп'ютерну мережу на основі волоконно-оптичних ліній зв'язку, що забезпечує можливість масштабування та просту інтеграцію нових пристроїв у майбутньому.

Основний акцент при виборі кабельної системи було зроблено на волоконно-оптичну інфраструктуру з підтримкою технології AON (Active Optical Network). Проведено детальний аналіз мережевого обладнання, яке пропонують провідні світові виробники, на основі чого сформовано оптимальний склад устаткування з урахуванням перспективи подальшого розширення мережі.

Особливу увагу приділено виявленню можливих вузьких місць у пропускній здатності мережі та способам їх усунення. Для забезпечення високої надійності функціонування передбачено використання резервних оптичних ліній зв'язку, а застосування високопродуктивного обладнання — гарантує стійкість мережі до перевантажень.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Болілій В.О., Котяк В.В. Комп'ютерні мережі. Навчальний посібник [Текст] / - Кіровоград: ЦОП Авангард, 2008. - 146с.
2. Величко, В.В., Суботін, Є.А., Шувалов, В. П., Ярославцев, А.Ф., Телекомунікаційні системи та мережі. 3. Мультисервісні мережі. Навчальний посібник. У 3 томах [Текст]/В.В. Величко, Є.А. Суботін, В.П Шувалов, А.Ф. Шувалов: Гаряча лінія-Телеком, 2005.-592 с.
3. Єрмаков, А.Є. Основи корпоративних мереж/А.Є. Єрмаков, С.Є. Каблів. 2010. - 371 с.
4. Семенов А.Ю. Пасивні оптичні мережі. [Текст]// А.Ю. Семенов : Радіо і зв'язок, 2009, 317с.
5. Воловодов, А.В. Екранування СКС та безпека даних / А.В. Воловодів//Мережі та системи зв'язку. - 2002. - № 4. - С. 60-64.
6. Череміскін І.В., Чехлова Т.К. Хвильоводні оптичні системи спектрального мультиплексування/демультиплексування// Електрозв'язок. - 2000, №2. - С.23 - 29.
7. Склярів О.К. Волоконно-оптичні мережі та системи зв'язку (2-е видання) Навчальний посібник [Текст] / О.К. Склярів//Изд.: «Лань». 2016 р. 267с.