

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  
(ПОЯСНОВАЛЬНА ЗАПИСКА)**

**ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВР**

**Тема:** «Мережа доступу на основі технології FTTx»

**Виконавець:** \_\_\_\_\_ Олег УСИК  
(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

Усика Олега В'ячеславовича

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

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Мережа доступу на основі технології FTTx»  
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: 4144 користувачів, 500м ОБК від OLT до ONU
4. Зміст пояснювальної записки: Вступ, Принципи побудови мережі NGA, Пасивна оптична локальна мережа (POL) на основі технології FTTH, Розрахунок мережі доступу POL на основі FTTH, Висновки
5. Перелік обов'язкового графічного (ілюстративного) матеріалу: Схематичне зображення області підключення NGA, Компоненти класичної мідної МД, Сегменти мережі послідовного переходу від мідного кабелю до оптоволоконного, Типове встановлення POL для багатоповерхового офісного середовища, POL може об'єднати мережі голосу, відео та даних в єдину оптоволоконну мережу, Оптична розподільна мережа (ODN), Оптоволоконні кабелі для FTTx, Централізована розділена архітектура з одним роздільником для кожного порту OLT PON, Розподілена розділена архітектура, Архітектура розподіленого відводу, Тестова схема POL ODN, Перелік матеріалів (bill of material - BOM) для проекту бізнес-будівлі кампусу

## 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	Принципи побудови мережі NGA	26.05.2023- 29.05.2023	Виконано
4	Пасивна оптична локальна мережа (POL) на основі технології FTTH	30.05.2023- 07.06.2023	Виконано
5	Розрахунок мережі доступу POL на основі FTTH	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)

Олег УСИК

(П.І.Б.)

## РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота «Мережа доступу на основі технології FTТх» містить 63 сторінки, 25 рисунків, 5 таблиці, 6 використаних джерел.

**РОН, РОL, FTТН, NGA, FTТН GPON, OLT, ONU, ODN, ОПТИЧНИЙ РОЗГАЛУЖУВАЧ, ОПТОВОЛОКОННИЙ КАБЕЛЬ.**

Об'єкт дослідження – є проектування мережі доступу наступного покоління з використанням технології FTТх.

Предмет дослідження – є пасивна оптична локальна мережа (РОL) за технологією FTТх.

Мета кваліфікаційної роботи – є створення мультисервісної мережі наступного покоління оптичного широкосмугового доступу для впровадження телекомунікаційних послуг, шляхом оновлення інфраструктури та впровадження технології FTТх.

Матеріали кваліфікаційної роботи рекомендується використовувати для реалізації програми впровадження нових технологій на телекомунікаційній мережі. В рамках роботи пропонується розгортання мережі абонентського доступу на основі технології FTТН, зокрема пасивної оптичної локальної мережі (РОL).

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ .....	7
ВСТУП .....	9
РОЗДІЛ 1. ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ МЕРЕЖІ NGA .....	12
1.1. Класична модель побудови телекомунікаційної мережі доступу .....	12
1.2. Аналіз архітектури NGA .....	15
1.2.1. FTTC .....	17
1.2.2. FTTS/ dp .....	18
1.2.3. FTTB .....	19
1.2.4. FTTH PtMP (FTTH GPON) .....	20
1.2.5. FTTH PtP .....	23
1.3. Шляхи міграції NGA .....	25
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1 .....	28
РОЗДІЛ 2. ПАСИВНА ОПТИЧНА ЛОКАЛЬНА МЕРЕЖА (POL) НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЇ FTTH .....	29
2.1. Переваги, обмеження та використання POL .....	29
2.2. Мережне планування POL .....	30
2.3. Оптичні термінали (OLT) .....	32
2.4. Налаштування та інсталяція OLT .....	37
2.5. Блоки оптичної мережі (ONU) .....	38
2.5.1. Настільні ONU .....	39
2.5.2. ONU робочої групи .....	41
2.6. Оптична розподільна мережа (ODN) .....	43
2.7. Оптоволоконний кабель .....	44
2.8. Оптичний розгалужувач .....	45
2.9. Оптоволоконні з'єднувачі .....	46
2.10. Інші волоконно-оптичні аксесуари .....	47

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2 .....	48
РОЗДІЛ 3. РОЗРАХУНОК МЕРЕЖІ ДОСТУПУ POL НА ОСНОВІ FTTH .....	50
3.1. Бюджет оптичного зв'язку .....	50
3.2. Топології розгортання та розрахунок оптичного бюджету .....	51
3.3. Тестування ODN .....	54
3.4. Функції безпеки та управління мережею POL .....	55
3.4.1. Інтерфейс командного рядка (CLI) .....	56
3.4.2. Система керування елементами (EMS) .....	56
3.4.3. Простий протокол керування мережею (SNMP) .....	57
3.5. Прийняття рішення щодо топології та розрахунок обладнання POL .....	57
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3 .....	59
ВИСНОВКИ .....	60
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	63

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

AES	Розширений стандарт шифрування
API	Інтерфейс прикладного програмування
APON	Асинхронний режим передачі пасивна оптична мережа
ATM	Асинхронний режим передачі
BDA	Алгоритм динамічної смуги пропускання
BPON	Широкосмугова пасивна оптична мережа
BWmap	Карта смуги пропускання
CSMA	Множинний доступ зі збереженням несучої
EPON	Пасивна оптична мережа Ethernet
FTTA	Волокно до антени
FTTB	Волокно до будівлі
FTTC	Волокно до бордюру
FTTH	Волокно до будинку
FTTx	Волокно до x
GEM	Метод інкапсуляції GPON
GPON	Гігабітна пасивна оптична мережа
GTC	Гігабітний рівень конвергенції передачі PON
HTML	Мова розмітки гіпертексту
IDENT	Ідентифікаційне поле
IT	Інформаційні технології
ITU-T	Міжнародний союз електрозв'язку, секція телекомунікацій
MSE	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
PON	Пасивна оптична мережа
PSYNC	Фізична синхронізація
QoS	Якість обслуговування
RTT	Час проходження в обидва кінці
SQL	Мова структурованих запитів
TDM	Мультиплекс з часовим розділенням каналів
xDSL	x Цифрова абонентська лінія



## ВСТУП

Щоб не відставати від зростаючих вимог до пропускної здатності, телекомунікаційні оператори переходять від мереж телефонного зв'язку та кабельного телебачення до оптоволоконних мереж, які обіцяють вищу швидкість (термін «швидкість» використовується як синонім «швидкості передачі даних»). Однак перехід до повністю оптоволоконної мережевої інфраструктури потребує великих інвестицій і займає значний час для завершення - ймовірно, принаймні десятиліття в більшості країн.

Оператори та постачальники працюють разом, щоб підвищити швидкість широкопasmового зв'язку, яку можна досягти за допомогою технологій доступу на базі мідного зв'язку, роблячи більш високі швидкості доступними швидше та подовжуючи термін служби мідних мереж. Тому в короткостроковій перспективі технології на основі міді продовжуватимуть відігравати важливу роль у забезпеченні доступу до високошвидкісних широкопasmових послуг.

Але чи дозволять ці розробки мідним мережам конкурувати з оптоволоконними мережами доступу в середньостроковій і довгостроковій перспективі?

За останні двадцять років швидкість підключення до Інтернету постійно зростала. Це було зумовлено законом Мура, який збільшує обчислювальну потужність комп'ютера, а також переходом до дисплеїв із вищою роздільною здатністю та більшим використанням зображень і відео, а не просто тексту.

Очікується, що це зростання швидкості підключення до Інтернету продовжуватиметься в осяжному майбутньому, як це було в минулому. Ця тенденція міститься в «Законі Нільсена про пропускну здатність Інтернету», емпіричному спостереженні, яке стверджує, що швидкість з'єднання висококласного користувача зростає на 50 відсотків на рік або подвоюється кожні 21 місяць.

Вперше виражена в 1984 році пропускна здатність Інтернету дотримується закону Нільсена аж до сьогоднішнього дня. Даними Nielsen за 2010 рік є швидкість з'єднання 31 Мбіт/с, швидкість, яка була знайома багатьом, але аж ніяк не була найвищою, доступна споживачам.

Оскільки більше інформації стає доступним у цифровій формі, доступ до даних потрібно буде отримати швидше. У міру вдосконалення можливостей мережі будуть розроблені нові додатки, щоб скористатися перевагами покращених можливостей, що й надалі підвищуватиме вимоги.

Відповідно до нещодавнього дослідження WIK Consult для німецької асоціації широкопasmового зв'язку Bundesverband Breitbandkommunikation (Breko), сукупні вимоги до біткової швидкості для всіх додатків у «підключеному домі» можуть легко перевищити 200 Мбіт/с до 2025 року.

Усвідомлюючи важливість доступу до Інтернету для економічного розвитку Європи, у травні 2010 року Європейська Комісія встановила чіткі цілі широкопasmового зв'язку в рамках своєї ініціативи «Цифровий порядок денний для Європи», який зазначає:

*«Щоб зрівнятися зі світовими лідерами, такими як Південна Корея та Японія, Європі потрібні швидкості завантаження 30 Мбіт/с для всіх її громадян і принаймні 50% європейських домогосподарств, які мають підключення до Інтернету вище 100 Мбіт/с до 2025 року».*

Ці цілі підтримують розгортання високошвидкісних широкопasmових мереж по всій Європі. Однак необхідно виходити за рамки цілей, встановлених у Цифровому порядку денному, щоб включити всі необхідні параметри для забезпечення реалізації мрій Європи щодо широкопasmового зв'язку.

**Актуальність теми.** У майбутньому зростаюча популярність існуючих послуг у поєднанні з впровадженням нових послуг, що вимагають пропускну здатності, таких як відеоконференції та електронна охорона здоров'я, продовжить збільшувати вимоги до швидкості передачі даних для домашніх користувачів і користувачів Інтернету в малому бізнесі.

Оскільки корпоративні мережі продовжують змінюватися та розвиватися, бюджетні обмеження спонукають більшість ІТ-менеджерів шукати нові мережеві архітектури. Багато хто розглядає можливість використання пасивних оптичних мереж (PON) у середовищі локальної мережі (LAN). Як рішення «точка-багато точок» PON використовує пасивні оптичні розгалужувачі, на відміну від активних комутаторів

Ethernet, для розподілу всіх даних, голосу та відеосигналів по всьому підприємству. Одна нитка одномодового оптичного волокна дозволяє мережевим адміністраторам об'єднувати існуючі мережі, включаючи голос, відео, дані, бездротовий доступ, безпеку, спостереження та автоматизацію будівель, в одній інфраструктурі. Залежно від того, як розгортається архітектура, потенційна економія витрат на встановлення кабелів, витрати на обладнання та енергію може бути значною.

**Мета і завдання дослідження.** є створення мультисервісної мережі наступного покоління оптичного широкосмугового доступу для впровадження телекомунікаційних послуг, шляхом оновлення інфраструктури та впровадження технології FTTx для надання послуг клієнту.

Для досягнення поставленої мети вирішуються такі наукові завдання.

1. Аналіз існуючих архітектур побудови оптичних мереж NGA;
2. Розглянуто переваги, обмеження та використання пасивної оптичної локальної мережі (POL) FTTx;
3. Було проведено мережне планування та розрахунок бюджету оптичного зв'язку бізнес-будівлі кампусу з готельним комплексом;
4. Розраховано перелік матеріалів bill of material (BOM) проекту мережі POL бізнес-будівлі кампусу з готельним комплексом.

**Об'єктом дослідження** – є проектування мережі доступу наступного покоління з використанням технології FTTx.

**Предметом дослідження** – є пасивна оптична локальна мережа (POL) за технологією FTTx.

**Практичне значення отриманих результатів.** Цей проект призначений для реалізації програми впровадження нових технологій на телекомунікаційній мережі. В рамках роботи пропонується розгортання мережі абонентського доступу на основі технології FTTH, зокрема пасивної оптичної локальної мережі (POL).

**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

### ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ МЕРЕЖІ NGA

#### 1.1. Класична модель побудови телекомунікаційної мережі доступу

Мережа телекомунікаційного доступу повинна забезпечувати доступ до всіх будівель і домогосподарств і підприємств, що в них розташовані. Як правило, вона будується вздовж вулиць, що підходять до цих будівель.

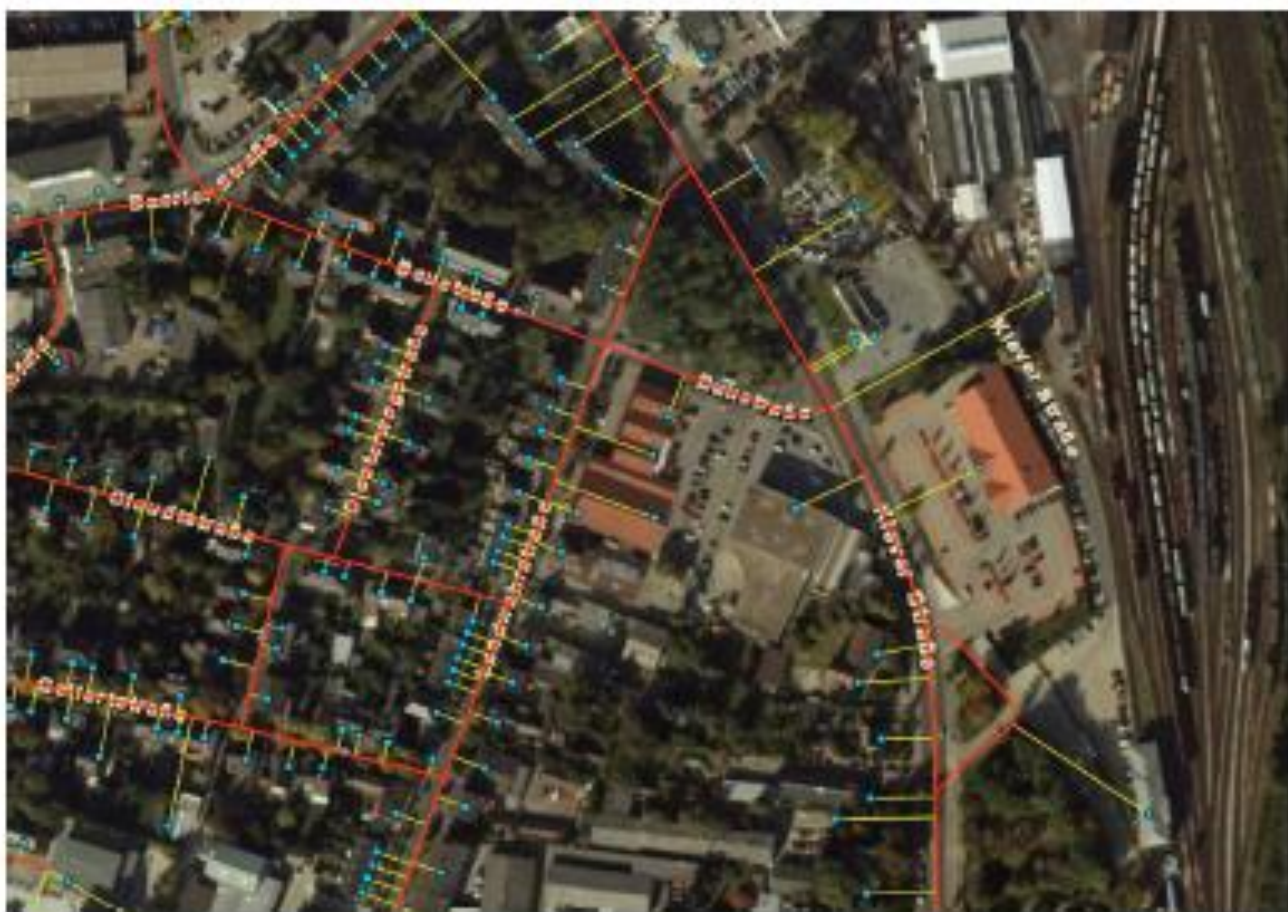


Рис. 1.1. Ділянка телекомунікаційної мережі доступу

Розширення телекомунікаційних мереж доступу в основному характеризується зіркоподібною прокладкою кабелів «крапка-крапка» з мідними парами, що починаються від основних місць дистрибуції. Починаючи з домогосподарств, окремі кабелі

об'єднуються в рукави, щоб стати більш об'ємними кабелями, доки вони не досягнуть закріпленої за ними кабельної розподільної шафи (РШ).

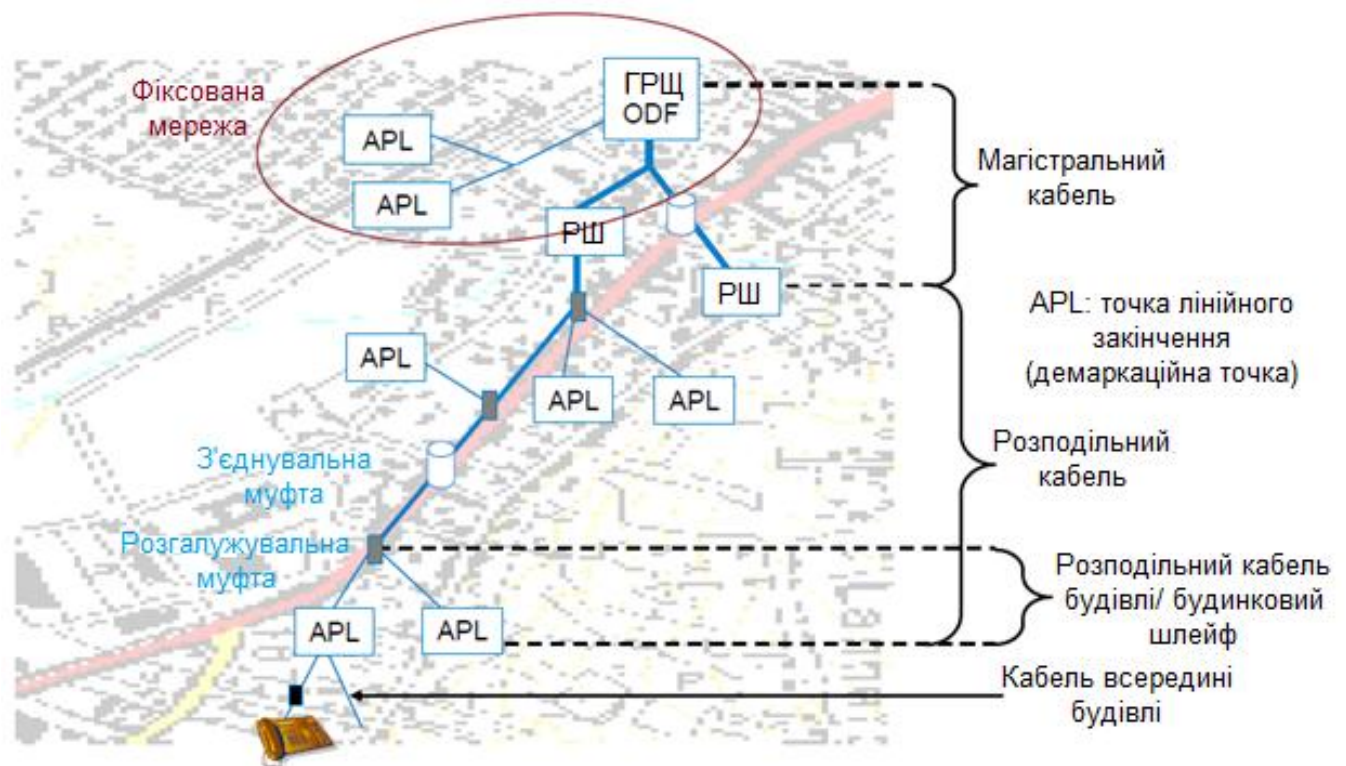


Рис. 1.2. Схематичне зображення області підключення NGA

Кабельна розподільна шафа містить розподільну рамку, на якій кожна пара проводів, що йдуть від домогосподарств, може бути розміщена і з'єднана з кожною парою проводів, що комутується з іншого боку розподільної рамки і веде магістральним кабелем від РШ до місцезнаходження основних дистриб'юторів. З одного боку, це забезпечує максимально можливу гнучкість при з'єднанні відгалужень розподільних кабелів із магістральним кабелем. З іншого боку, це дозволяє максимально використовувати основний магістральний кабель, що дозволяє гнучко розподіляти його резерви по всіх відгалужених кабелях. Основний магістральний кабель прокладається від головного розподільного щита або кросу в місці розташування центрального вузла мережі і далі гнучко підключається до відповідних додаткових систем. [1]

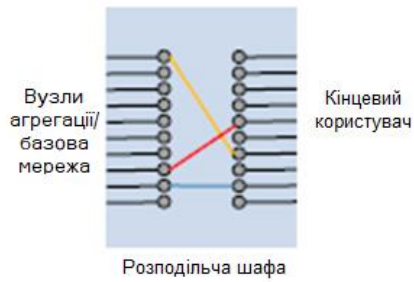


Рис. 1.3. Розподільча шафа в мережі доступу

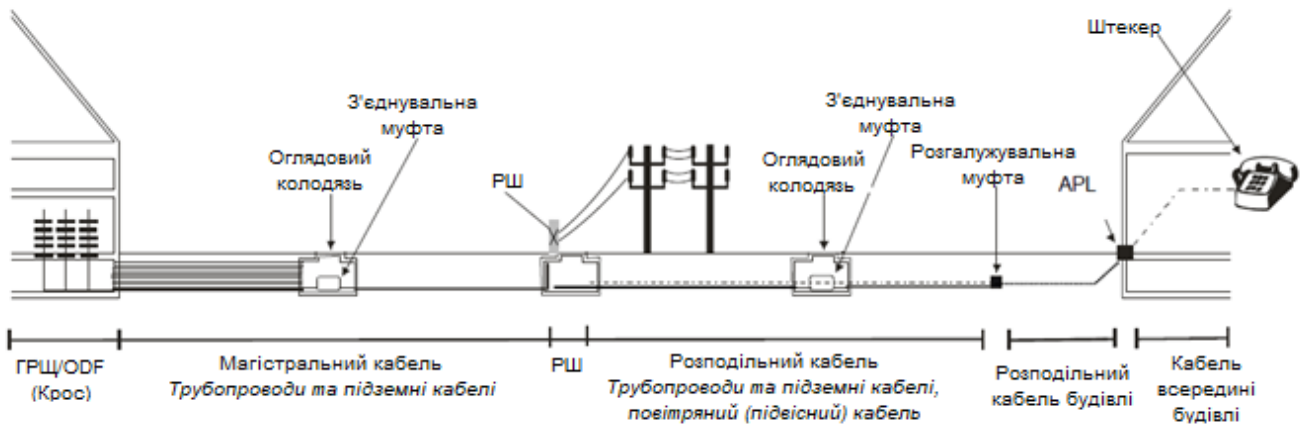


Рис. 1.4. Компоненти класичної мідної мережі доступу

Так, наприклад, у Німеччині зростаючий попит на пропускну спроможність і характеристики передачі витих мідних пар змусили деяких регіональних конкурентів розгорнути оптоволоконні мережі до приміщення абонентів (загалом менше 2,5% абонентів). Крім того, оператори кабельних мереж модернізували свої мережі до більш високої пропускну спроможності (DOCSIS 3.0) (площа близько 64% будинків), а домінуючий на ринку провайдер фіксованої мережі Deutsche Telekom (DT) зараз переважно розширює FTTC. Можна припустити, що густонаселені райони вже значною мірою розвинені з FTTC і що активні агрегуючі мережеві компоненти (DSLAM - мультиплексор доступу цифрової абонентської лінії xDSL і MSAN - точка мультисервісного доступу), побудовані в РШ, направляють трафік через основні розподільні вузли по оптичних каналах безпосередньо на близько 900 так званих BNG- сайтів (широкопasmовий мережевий шлюз (BNG)). Сайти BNG зазвичай є підмножиною ГРЩ, які, на додаток до свого завдання як вузлові точки мідної кабельної мережі, також

виконують завдання на більш високому рівні мережі, що агрегує трафік. Вони є частиною так званої концентраційної мережі, на яку накладається так звана базова мережа як національна мережа доступу. пропускною здатністю не менше кількох 100 Кбіт/с). Заявлена мета Deutsche Telekom по завершенню цього перетворення VoIP по всій країні до кінця 2018 все ще не була повністю досягнута наприкінці 2022 року.

Для повноти картини і тому, що ці аспекти взаємопов'язані: Переведення комутованої голосової мережі на IP є необхідною умовою для будівництва оптоволоконної мережі доступу, щоб передавати голосовий зв'язок, що починається (і закінчується) як передача VoIP у кінцевого споживача, разом із передачею даних рівномірно базову мережу NGN. В іншому випадку голосові сигнали та сигнали даних все одно довелося б розділяти на нижньому мережному рівні, голосові сигнали перетворювати на класичну передачу по PSTN, а потім знову перетворювати на VoIP при переході в базову мережу. Це призведе до непотрібних витрат та втрати якості. Ця умова значною мірою виконана у Німеччині.[1]

## **1.2. Аналіз архітектури NGA**

Мідні пари мережі зв'язку призначалися задля високочастотної і широкосмугової передачі, а спочатку аналогової передачі телефонного сигналу зі смугою пропускання максимум 3,6 кГц. І цей сигнал також був обмежений довжиною максимум приблизно 7 км. Телефонна мережа минулого була розрахована на цю максимальну довжину сполучної лінії, а також було визначено розташування розподільних шаф (РШ). Для передачі більшої пропускної здатності по мідним парам кабелі можна замінити більш підходящими кабелями (наприклад, екранованими парами, коаксіальними кабелями або навіть оптоволоконном). Що вимагало б більшого простору, або, з іншого боку, довжину мідної ланки можна було б скоротити і з'єднати з волоконно-оптичним кабелем. Починати доцільно з магістрального розподільчого шафи, оскільки будівництво нових магістральних кабелів значно дешевше, ніж заміна розподільної кабельної мережі. Перший такий етап розширення, поширений сьогодні, за-

кінчується у розподільчій шафі, наступний йде по мережі до клієнта на узбіччі, перестанній у підвал будівлі, поки оптоволокно не дійде до будинків клієнтів. На наступному малюнку представлено огляд етапів розширення оптоволоконної мережі доступу.

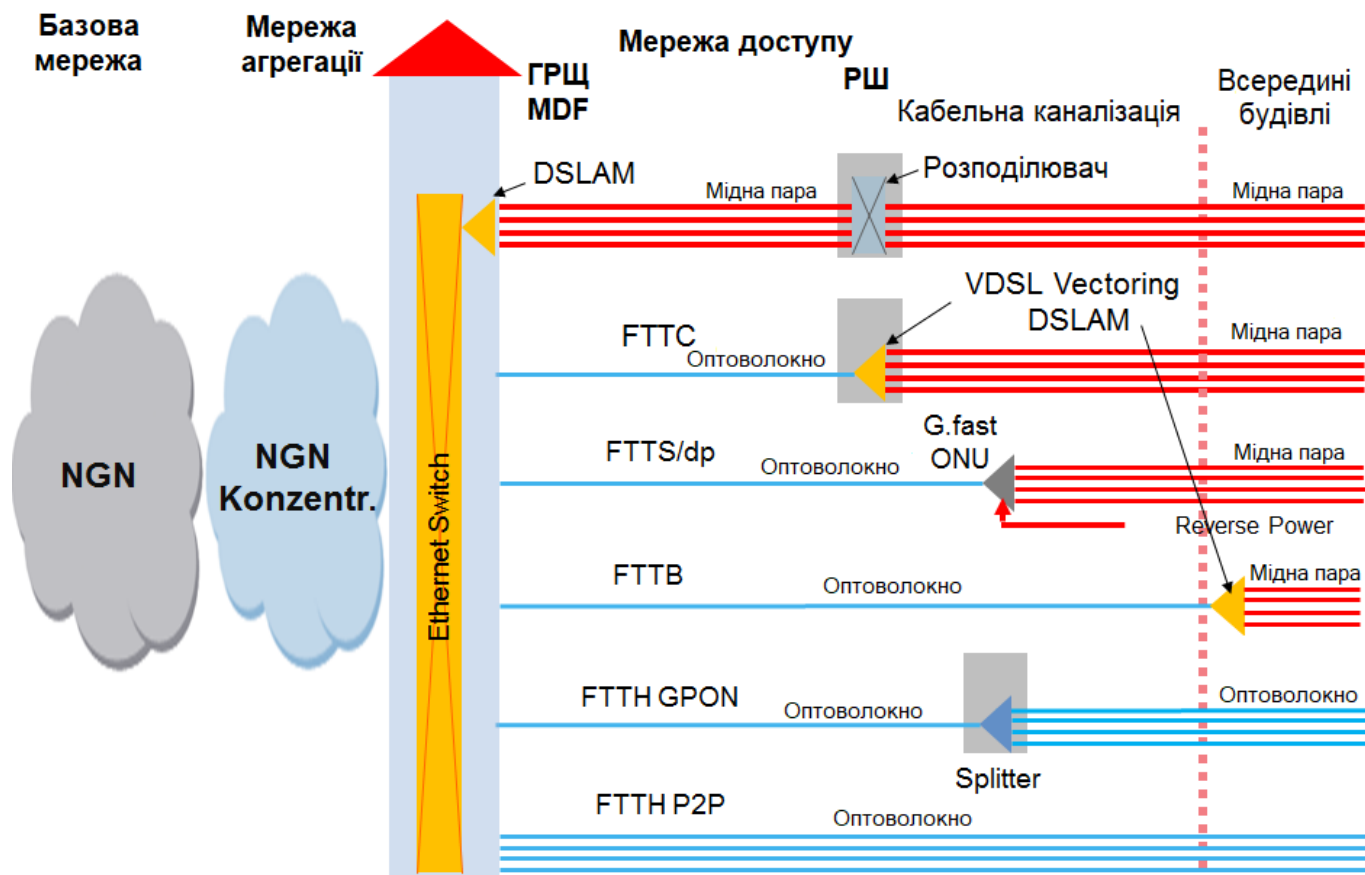


Рис. 1.5. Архітектури NGA

Агрегуючий Ethernet-комутатор, розташований у ГРЩ (MDF), також може бути функціонально розташований у меншій кількості місць на більш високому мережевому рівні, які називаються BNG-сайтами в базовій мережі.

На сьогоднішній день вимоги щодо підключення клієнтів, розкиданих по всьому ЄС, до високопродуктивної обчислювальної хмари (High Performance Computing Cloud) з ексафлопною продуктивністю (Exascale) через терабітну мережу, як в даний час викладено в планах Комісії ЄС на період до 2030 виконані тільки за рахунок топології FTTH PtP, яка може бути реалізована за допомогою нових компонентів агрегації та базової мережі. Таким чином, як цільова архітектура ця топологія досить перспективна. [1]



### *1.2.1. FTTC*

При використанні Fiber to the Curb (FTTC) або Fiber to the Cabinet DSLAM/MSAN, які агрегують трафік, переміщуються з місця розташування головного розподільного щита або кросу в розподільну шафу, а MDF і РШ з'єднуються між собою за допомогою оптоволоконна, тоді як лінії доступу абонента, так звані Subloops (абонентський шлейф) складаються з існуючі мідні пари. Ця процедура скорочує відповідну довжину мідної лінії з абонентського кабелю доступу і, таким чином, забезпечує більшу пропускну здатність для абонентів. У деяких випадках, однак, довжина кабелю, що залишилася, може перевищувати 2 км, а це означає, що тут клієнту також не доступна значна смуга пропускання. Через це скорочення та використання VDSL2, який був спеціально оптимізований для більш коротких ліній, рівень пропускну спроможності збільшується порівняно з ADSL2+, який раніше використовувався від MDF (ГРЩ) до абонента. Однак загалом пропускну здатність зменшується у міру збільшення довжини сполучного кабелю. Згодом були розроблені подальші вдосконалення методів передачі VDSL2, які збільшують діапазон та пропускну здатність смуги пропускання. Зокрема, тут слід зазначити збільшення частот передачі з 8 12 до 17 МГц (Профіль 17a), а також до 30 (Профіль 30a) і 35 МГц (Профіль 35b). Це розширення можливостей було доповнено та супроводжувалося розвитком векторизації, методу виправлення помилок, що майже усуває типові перехресні перешкоди сусідніх мідних пар. Векторизація є процесом постійного динамічного вимірювання і придушення взаємних впливів між ланцюгами мідножильного багатопарного кабелю, в результаті чого пропускну здатність всіх ліній значно збільшується.

Для налаштування FTTC потрібен оптоволоконний кабель з як мінімум 2 волокнами на DSLAM/MSAN між MDF і РШ в магістральному кабельному сегменті доступу. Крім того, на РШ повинен бути встановлений корпус для розміщення одного або кількох DSLAM/MSAN, що живиться від мережі. Також можливо необхідно забезпечити розсіювання тепла. Місце також має бути захищене від вандалізму (наприклад, із захисними планками). [2]

Якщо спочатку використовувалися VDSL2 порти різних профілів, то згодом все зосередилося на профілі 17a. Можливо, старі карти портів довелося замінити. Пізніше

було додано функцію векторизації, для якої DSLAM/MSAN мали бути доповнені процесорним модулем векторизації для високопродуктивного розрахунку поправок. Якщо застосовно, то DSLAM повинен бути замінений на той, який може вміщувати та використовувати цей модуль. Карти портів також можуть бути замінені, якщо вони не можуть підтримувати процес векторизації. На наступному етапі може знадобитися модернізація плат портів та вузла процесора векторизації для розширення діапазону частот для профілю 35b і так званого супервекторування. Це може бути досягнуто або відповідною параметризацією, за умови, що компоненти були попередньо обладнані або заміною плат. [2]

### **1.2.2. FTTS/ dp**

Fiber to the Street або Fiber to the distribution point використовує менші ONU, також звані блоками розподільних точок (DPU), які можуть передавати до 1 Гбіт/с за довжиною мідного кабелю близько 250 м з використанням методу G.fast. Однак це сумарна пропускна спроможність, яка може бути розділена за бажанням між двома напрямками висхідного та низхідного потоку (up- і downstream) та може працювати симетрично на швидкості 500 Мбіт/с. Ця пропускна здатність зазвичай досягається лише за допомогою векторизації (зокрема, для G.fast). DPU підключається до MDF через оптоволокно та підтримує до 48 портів. Щодо мідної пари для абонентського доступу, G.fast використовує частотний діапазон до 106 МГц на першому етапі реалізації і ще не може досягти повної продуктивності. Це досягається лише при оновленні до 212 МГц, що може вимагати заміни карти та блоку векторного процесора.

XG.fast все ще знаходиться в розробці, його пропускна здатність розрахована на загальну пропускну здатність 10 Гбіт/с, з частотою передачі по мідних парах до 500 МГц і максимальною довжиною близько 70 м. Для великих довжин супервекторування було б більш потужним рішенням. У цьому випадку DPU неминуче розташуватиметься поруч або в будівлі клієнта (див. також FTTB). [2]

Необхідність використання векторизації залежить від структури кабелів біля будівлі та всередині неї. Якщо там можна використовувати екрановану пару категорії

5 або вище в зіркоподібній структурі, перехресні перешкоди відсутні, і потреба в тривалому векторизації.

DPU G.fast потрібне не тільки оптоволоконне з'єднання, яке має проходити від MDF до РШ (до місця розташування DPU), але й джерело живлення, яке не завжди може бути забезпечене оптоволоконном. Підключення до загальної електромережі здається дуже дорогим, тому стандарт G.fast передбачає зворотне живлення, подачу живлення по мідних парах від кінцевого абонента. (В Італії електроенергія також подається по мідних парах, що залишилися, мідної мережі доступу від точок MDF.) DPU знаходиться або в невеликій шафі управління, або в невеликій шахті (також відомій як Handhole англійською мовою) на узбіччі дороги, що зазвичай доводиться будувати для цієї мети. [2]

### **1.2.3. FTTB**

З використанням оптоволоконна до будівлі (FTTB) оптоволоконно простягається від ГРЩ (MDF) до будинку клієнта і термінується там ONU. І тому існує ряд систем. До них відносяться:

- VDSL2 DSLAMs, наприклад також з профілем 30a
- Ethernet-комутатор
- G.fast та XG.fast DPU
- G.PON ONU

Спільним для них є використання існуючої внутрішньої інфраструктури. Пропускна здатність пари мідних проводів до споживача залежить від технології ONU. Структура та комплектація кабельної мережі всередині будівлі також відіграє певну роль. Якщо йдеться про неекрановані прості телефонні проводи в збірному кабелі, принаймні для стояка(ів) у будівлі, існує ризик втрати продуктивності через перехресні перешкоди. Однак це можна виправити за допомогою методів передачі VDSL і G.fast шляхом векторизації, за умови, що всі лінії підключені до того самого DPU/DSLAM. Це також стосується G.PON, залежно від методу передачі на мідному боці ONU. Якщо внутрішнє кабельне розведення відповідає сучасним стандартам, що

діяли протягом 30 років з екранованими мідними кабелями категорії 5 або вище, проблем, спричинених перехресними перешкодами, очікувати не доводиться.

Використання комутаторів Ethernet є однією з початкових форм FTTB і використовується з кінця 1990-х років, тобто з епохи, що передує DSL. У внутрішній зоні будівлі сигнали Ethernet передаються по неекранованим або екранованим витим мідним парам зі швидкістю 2 - 100 Мбіт/с. Навіть 1 Гбіт/с - звичайне явище у приватних будинках сьогодні за наявності відповідної внутрішньої кабельної мережі. У сегменті бізнес-клієнтів вищі швидкості передачі також використовуються у внутрішніх мережах. [2]

При використанні G.PON багато виробників систем пропонують не тільки класичний двосторонній зв'язок, але й низхідний потік сигналів класичного кабельного телебачення на окремій довжині хвилі, які завершуються в ONU на коаксіальному роз'ємі і звідти можуть подаватися в існуючий коаксіальний кабель.

На додаток до оптоволоконного з'єднання від ODF (ГРЩ) до кожної будівлі, у підвалі повинна бути встановлена активна технологія, яка термінує оптоволоконно, яка зазвичай живиться від електромережі будівлі. Простір для цього обладнання повинен бути захищений від несанкціонованого доступу та саботажу (замкнено), але доступний для технічного спеціаліста оператора мережі, щоб мати можливість швидко усунути неполадки. [1]

#### ***1.2.4. FTTH PtMP (FTTH GPON)***

При використанні FTTH оптоволоконний тракт та оптична передача безперервно проходять від ODF (ГРЩ) до розеток оптичного підключення у кожній квартирі. У FTTH PtMP з'єднання оптичного волокна, що виходять з будинків, зрощуються з одним волокном, що ретранслює, в проміжній точці на шляху до ODF (ГРЩ) через так званий оптичний спліттер. Це заощаджує скловолоконно на шляху до ODF та зменшує кількість електронних інтерфейсів у системах агрегації в ODF. З іншого боку, ця безперервна оптоволоконна лінія стає загальним середовищем, пропускну здатність якого розподіляється між окремими кінцевими споживачами. Сигнали від кінцевих

споживачів накладаються на це оптичне волокно, якщо вони надсилаються одночасно, і таким чином стають незрозумілими. В іншому напрямку від MDF до кінцевого споживача повідомлення має чітко ідентифікувати одержувача, а інші пристрої, що приймають, не повинні підслуховувати те, що відправляється, з метою захисту телекомунікаційної таємниці. Тому для адміністрування оптоволоконної мережі PtMP необхідні додаткові компоненти висхідного потоку. OLT (термінатор оптичних ліній) NVt призначає права передачі ONU (оптичний мережевий блок) у кінцевого споживача, щоб запобігти зіткнення своїх повідомлень з повідомленнями інших кінцевих споживачів (пор. Рисунок 2-7). Аналогічно, він адресує повідомлення від NVt до ONU кінцевих споживачів, які приймають із мережі лише призначені їм повідомлення і ігнорують інші. (Тому цю архітектуру із загальним носієм критикують через те, що вона не є повністю захищеною від перехоплення.) [1]

Перші проміжні технічні системи отримали назву G.PON (Gigabit Passive Optical Network). Слово "пасивний" також означає, що розгалужувачі, що використовуються, не мають активних компонентів і не вимагають джерела живлення. Оптичний сигнал з ODF легко передається попри всі підключені волокна через розгалужувач, де ділиться порівну, тобто. потужність передачі на вихідному волокні значно знижується проти вхідним волокном. Це впливає на дальність дії систем PON, яка, проте, спроектована досить високою та спочатку становить 20 км. Однак залежно від вибору та кількості оптичних компонентів дальність може бути і меншою. Таким чином, кількість кінцевих користувачів, які можуть бути підключені до спліттера, обмежена у вихідному стандарті максимум 64. Мережеві оператори часто підключають спліттери зі співвідношенням не більше 1:32, щоб мати резерви.

Використання проміжних оптичних систем завжди обмежує пропускну спроможність мережі доступу. У G.PON доступні 2,5 Гбіт/с у низхідному напрямку та 1,25 Гбіт/с у висхідному напрямку, які учасники повинні спільно використовувати у загальному середовищі. (2,5 Гбіт/с / 64 учасники дають 39 Мбіт/с на учасника одночасно. Не можна припускати, що всі учасники будуть передавати одночасно, так що ефективна смуга пропускання збільшується в години найбільшого навантаження. Тим не менш: G.PON рухається в області сучасних систем супервекторування.) З 2003 р. було

розроблено та стандартизовано кілька поколінь технологій, які працюють із симетричною передачею, починаючи з XGS.PON. Таблиця 1.1 містить огляд сімейства GigaBit PON. [1]

У принципі, ці технології можуть співіснувати в одній і тій же оптоволоконній мережі доступу, оскільки вони працюють на різних довжинах хвиль або в діапазонах довжин хвиль. Технології TWDM-PON (також звані NG-PON2) використовують кілька довжин хвиль, які можна розділити і зробити доступними для різних мережевих операторів, таких мереж, як XGS-PON.

В принципі, щоб розвинути мережу доступу з більш високою пропускною здатністю, OLT і ONU повинні бути замінені або перетворені кожен хоча б для того, щоб налаштувати їх на нові довжини хвиль, які використовує кожне покоління. Якщо ви хочете використовувати можливості великих оптичних бюджетів і, як наслідок, більшого коефіцієнта поділу або, як наслідок, більш довгих діапазонів, можливо, також доведеться перетворити спліттери на оптоволоконну мережу.

Таблиця 1.1.

Сімейство G.PON, характеристики та шляхи розвитку

Система	Стандарт	Рік	Up [ Gbit /S]	Down [Gbit /S]	Сім.	Splitter
G.PON	ITU-T G.984	2003 р.	1,25	2,5	асим.	1:64
XG.PON	ITU-T G.987	2010	2,5	10	асим.	1:128
XGS.PON	ITU-T G.9807.1	2016	10	10	сим.	1:128
TWDM PON	ITU-T G.989	2015	4 - 8x10	4 - 8x10	сим.	1:256
TWDM-PON2		2020	Доповнюється 10G індивідуально	GK	сим.	1:256
DWDM PON		> 2020	Доповнюється 10G індивідуально	PK	сим.	1:1000

У цьому вся мало економічного сенсу. Найрозумніше використовувати в ODF

додаткові, каскадні спліттери. (Наприклад, 4 спліттери з 1:64 можна об'єднати з додатковим спліттером 1:4 до 1:256.)

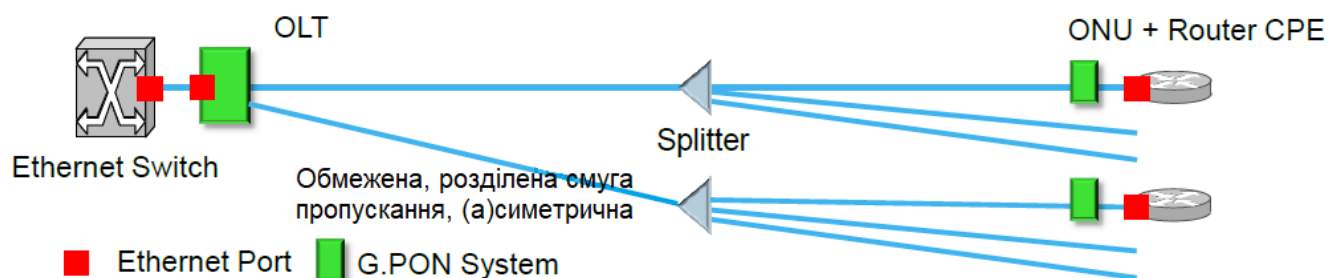


Рис. 1.6. Модернізація G.PON, заміна проміжних систем (зелений, при необхідності, також червоний)

Звичайно, можна обійтися і без будівництва розгалужувачів у польових умовах, а протягнути оптичне волокно PtP до РШ та розмістити розгалужувачі там. Це забезпечує високий рівень гнучкості, використання та розширення спліттера, а також адаптацію до діапазонів/довжини ліній доступу. Це дозволяє скоротити кількість необхідних OLT і краще використовувати, особливо на етапі розширення і запуску, тобто під час проникнення ринку. Такий підхід також дозволяє відокремити волокно від топології середовища для клієнтів, які мають більш високі вимоги до пропускну здатності, ніж може запропонувати архітектура G.PON, або яким потрібно/необхідно передавати інші протоколи, ніж може запропонувати G.PON. Особливо низька затримка при передачі/підключенні для мобільного радіозв'язку і є прикладом цього. Завдяки високому загасанню вставлених розгалужувачів, що значно зростає зі збільшенням коефіцієнта поділу, за такої топології можна гнучко комбінувати сполучні лінії у розгалужувачах з різними коефіцієнтами поділу та/або класами якості залежно від їхньої довжини (і відповідного згасання) і таким чином знизити витрати. [1]

### 1.2.5. FTTH PtP

З FTTH PtP (волокно до будинку точка-точка), кожна квартира чи службове приміщення підключається окремим оптичним волокном із ODF. Тут, так би мовити,

скловолокно конструктивно та функціонально замінює стару мідну пару мережі доступу. На стороні ODF є Ethernet-комутатор, який агрегує трафік, а на стороні клієнта, як завжди, є маршрутизатор, який тепер безпосередньо підключений своїм оптичним Ethernet-портом до Ethernet-комутатора з іншого боку, а не через ONU та OLT. Такі порти вже за промовчанням підтримують 1 Гбіт/с. Якщо окремі клієнти висувають більш високі вимоги до пропускної спроможності, інтерфейси Ethernet по обидва боки індивідуально модернізуються до 10 і навіть 100 Гбіт/с (Малюнок 2-8). Це швидкості, які жодна з архітектур G.PON для індивідуальних підключень клієнтів нині прозоро та неподільно не підтримує.

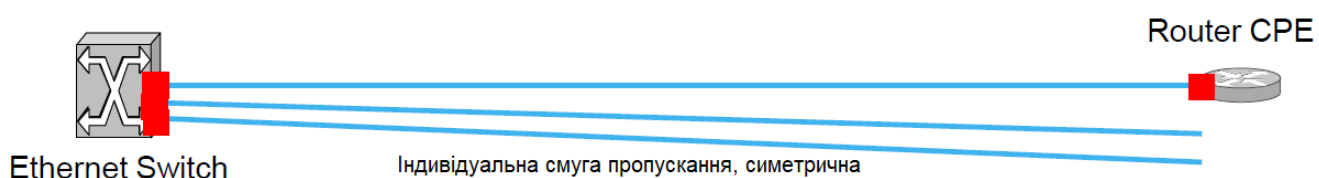


Рис. 1.7. Модернізація Ethernet PtP, індивідуальне оновлення окремих портів відповідно до вимог замовника (в т.ч. заміна маршрутизатора CPE за необхідності)

На відміну від архітектури FTTC, FTTS, FTTB або FTTH PtMP полягає, з одного боку, в трохи більш високих вимогах до оптоволокна в основному кабельному сегменті, з іншого боку, в залежності від архітектури, як і раніше, потрібні скляні волокна замість мідних кабелів для підключення до мережі кінцевого абонента. Тільки в порівнянні з FTTH PtMP вимоги до оптоволокна в квартиру від останнього спліттера такі ж, як і для FTTH PtP. Ще однією відмінністю FTTH PtP від інших архітектур є потреба в активних компонентах та інтерфейсних платах, особливо на боці ODF. У разі використання FTTH PtP кожному кінцевому користувачеві потрібен власний порт в Ethernet-комутаторі. G.PON OLT об'єднує безліч учасників на порту з вищою пропускною спроможністю і, відповідно, вимагає від них меншої кількості учасників. Це заощаджує порти Ethernet, але також потребує витрат на OLT, ONU та сплітери. В інших архітектурах менша кількість портів Ethernet у комутаторі MDF (ODF) більш ніж компенсується DSLAM/MSAN/DPU або ONU та їх портами.

Домінуюча відмінність архітектур полягає в ступеню розширення ВОЛЗ (тільки



до шафи (РШ), Distribution Point або підвалу) та їхньої економії за рахунок використання існуючих мідних кабелів. Таке спільне використання знижує необхідні інвестиції, зменшує грошові потоки та значно прискорює поширення широкосмугового зв'язку, оскільки необхідно виконати лише невелику частину будівельних робіт. Однак у результаті на майбутнє буде відкладено лише проблему оптоволоконна, яке, зрештою, необхідно довести до домогосподарства. Наприклад, розширення волоконно-оптичної мережі у Німеччині займає вже понад десять років. Розглядаючи лише інвестиції, легко згаяти з уваги той факт, що використання існуючої інфраструктури також тягне за собою експлуатаційні витрати, починаючи з щомісячної орендної плати за абонентський шлейф або, відповідно, більш короткі мідні сегменти. [1]

Якщо ви об'єднаєте переваги FTTH PtP з перевагами FTTH PtMP, спочатку встановивши спліттери з оптоволоконної топології PtP в MDF і підключивши їх безпосередньо до OLT, ви отримаєте різницю у вартості між двома підходами лише близько 1% на користь PtP. Модернізація системи G.PON разом із зростаючими вимогами до пропускної спроможності не було прийнято до уваги.

Порівняння волоконно-оптичних топологій PtMP і PtP дає зрозуміти, що тільки оптоволоконна топологія PtP дійсно технологічно нейтральна і тільки вона є повноцінною заміною фізично незв'язаної мідної пари з точки зору можливостей поділу.

### **1.3. Шляхи міграції NGA**

Міграція мережі доступу повинна здійснюватися таким чином, щоб нова інфраструктура мережі підключення надавалася паралельно, а під час перемикання, з'єднання могло бути переключено з якнайменшою перервою або з найкоротшою перервою в обслуговуванні. Це означає: Нова структура мережі з'єднань має бути максимально паралельною, щоб потім можна було лише переключити з'єднання з однієї технології на іншу. Витягування мідного кабелю, а потім втягування оптоволоконного кабелю займає багато часу, і час залежить від кількості з'єднань, які стосуються такої операції. Заміна підключення до будинку на одну або кілька квартир все ще може бути здійснена в розумний термін (кілька годин). Однак заміна основного кабелю з

кількома сотнями роз'ємів займає кілька днів, доки не будуть замінені всі кабелі аж до роз'ємів. У будь-якому випадку, перед перемиканням операцій необхідно створити наскрізне з'єднання через оптоволокло від MDF до вузла агрегації (DSLAM, MSAN, DPU, ONU).

Якщо переключення з'єднання також пов'язане з переходом на принципово інший світ протоколів, як у випадку, наприклад, з переходом з PSTN на VoIP, який в даний час часто відбувається одночасно, то, можливо, доведеться серйозно підготуватися на стороні кінцевого абонента (наприклад, заміна кінцевих пристроїв, нова електропроводка, заміна систем розподілу), які мають бути узгоджені з датою перемикання.

Якщо розширення NGA починається вже з FTTC і створеної для цього інфраструктури має вистачити для цільового розширення, то порожня трубна інфраструктура та оптоволоконний кабель від ГРЩ до РШ повинні бути розраховані таким чином, щоб він підходив для цільового розширення. Тут мідні кабелі також можуть бути простягнуті в цьому сегменті мережі тільки в тому випадку, якщо всі низхідні з'єднання були переключені. Тоді, при необхідності, ділянку повітроводу, що вивільнилася, можна було б спланувати як новий резерв, якщо старий резерв був тимчасово зайнятий новими скловолокнами. У цьому відношенні за необхідності може бути досягнуто економії. Нагадуємо ще раз, що не всі магістральні мідні кабелі прокладені у порожніх кабелепроводах. Залежно від ситуації, це може мати місце тільки для частини сегмента мережі.

Фізична міграція з початкового стану FTTN, в якому оптоволоконна мережа закінчується MDF, а клієнти підключаються через DLAM/MSAN можна описати міграцією в рамках існуючих класичних архітектур All-IP ТК і явно виключити міграцію з коаксіальних кабелів на волоконно-оптичні кабелі.

Передбачається, що з'єднання ядра та мережі агрегації вже деякий час збудовані з волоконно-оптичних ліній. На рис. 1.8. показані мережеві сегменти мережі доступу, які послідовно замінюються оптоволоконними кабелями, починаючи із сегмента магістрального кабелю. Подальший поділ розподільчого кабелю необов'язково має ви-

конуватися окремими етапами, але підсегменти, у принципі, також можуть бути замінені за один етап (FTTC - FTTH PtP). Ще більший крок міграції може містити основний кабель (FTTN - FTTH PtP).

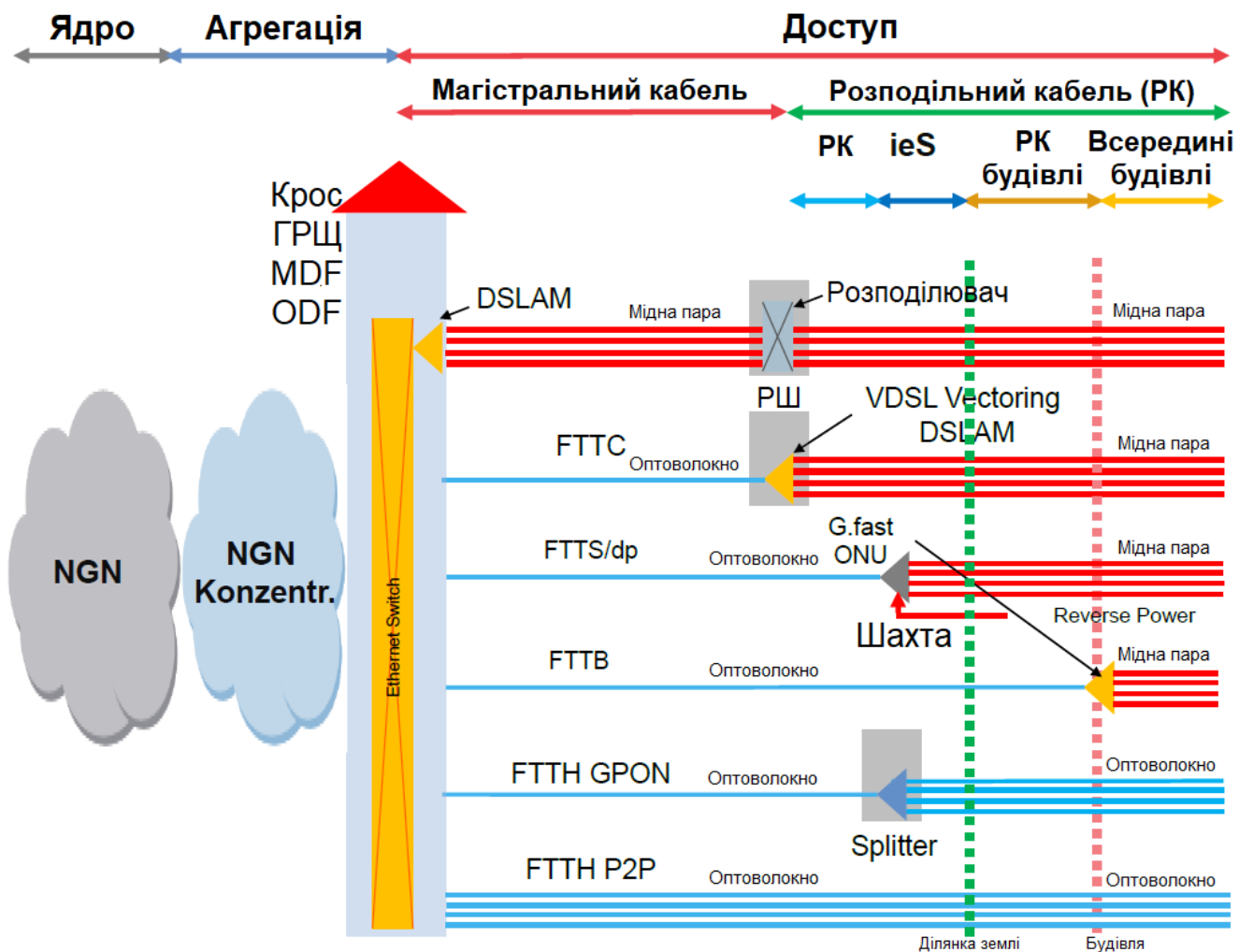


Рис. 1.8. Сегменти мережі послідовного переходу від мідного кабелю до оптоволоконного

Кожна міграція також потребує автоматизованої підтримки процесів надання та завершення та їх адаптації до нової системної платформи. Це має бути ретельно сплановано та включено до операційних процесів, своєчасно підготовлених відповідальними ІТ-відділами. Найчастіше це додаткова перешкода, яка і без того ємна за часом, крім того, для цього необхідні фінансові ресурси. Це також передбачає планування як найменшої кількості проміжних кроків. [1]

## ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1

У цьому розділі були розглянуті питання розширення телекомунікаційних мереж доступу, також розглянуті компоненти класичної мідної мережі доступу та перекид комутованої голосової мережі на IP, що є необхідною умовою для будівництва оптоволоконної мережі доступу, для передачі голосового зв'язку, що починається (і закінчується) як передача VoIP у кінцевого абонента, разом із передачею даних рівномірно базову мережу NGN.

Було проведено аналіз архітектури NGA та представлено огляд етапів розширення оптоволоконної мережі доступу. Також коротко розглянуто технології сімейства GigaBit PON, проведено порівняння волоконно-оптичних топологій PtMP і PtP та описано сегменти мережі послідовного переходу від мідного кабелю до оптоволоконного.

У принципі, питання про паралельне забезпечення також є питанням стратегії переходу мережного оператора щодо клієнтських мереж доступу. Як тільки район буде паралельно забезпечений новою широкопуговою інфраструктурою, всі клієнти будуть переведені на нову технологію підключення без необхідності зміни чи оновлення контракту. Значить, вони одержують свою стару послугу через нову платформу (за ту саму плату)? Або вони мають взяти новий продукт?

## РОЗДІЛ 2

### ПАСИВНА ОПТИЧНА ЛОКАЛЬНА МЕРЕЖА (POL) НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЇ FTTH

#### 2.1. Переваги, обмеження та використання POL

POL складається з двох основних активних (з живленням) компонентів — оптичного лінійного терміналу (OLT), зазвичай розташованого в центрі обробки даних або кімнаті з обладнанням, і блоків оптичної мережі (ONU), які надають послуги кінцевим користувачам. Мережа одномодового волокна (SMF) і пасивних (без живлення) оптичних розгалужувачів з'єднує OLT з ONU. Оптоволокно та пасивне обладнання між OLT і ONU часто просто називають оптичною розподільною мережею (ODN).

OLT забезпечує інтерфейс між основним комутатором мережі та ONU. OLT кодує дані Ethernet для передачі на ONU і керує вихідним потоком даних від ONU до OLT через ODN. Потім ONU поширюють сигнал бездротовим способом або через кабель передачі даних по витій парі на різноманітні пристрої з підтримкою Інтернет-протоколу (IP), такі як комп'ютери, точки бездротового доступу (WAP) і телефони Voice-over-IP (VoIP). [3]

При розробці будь-якого рішення локальної мережі, яке забезпечує бажану технічну продуктивність, а також необхідну економію капітальних і операційних витрат, продуктивність і економія витрат залежать від конкретного середовища, в якому розгортається рішення, а також від способу його розгортання. У випадку POL нижче наведено кілька прикладів факторів, які слід враховувати:

- Вибір розміру OLT — скільки користувачів потрібно підтримувати
- Географічний розподіл груп користувачів
- Типи мережевих послуг, які будуть підтримуватися, як-от дані, відео, голос, спостереження тощо.
- Вимоги до пропускної здатності для кожної групи користувачів або окремого

користувача

- Оптимізація топології оптичної розподільчої мережі
- Оцінка короткострокових капітальних витрат і довгострокових операційних

витрат

- Розміщення ONU на робочому місці

Важливо також розуміти, які переваги, такі як потенційна економія коштів і спрощене розгортання, випливають із використання пасивних компонентів порівняно з активним комутаційним обладнанням Ethernet, і тому унікальні для POL. Однак інші переваги, такі як висока пропускна здатність, низькі електромагнітні перешкоди та «зелена» технологія, пов'язані з використанням оптоволокна в POL, і тому їх також можна реалізувати в налаштуваннях Ethernet на основі оптоволокна. [4]

## 2.2. Мережне планування POL

Детальне планування на основі вищевказаних факторів має вирішальне значення для проектування економічно ефективної мережі, яка може задовольнити коротко- та довгостроковий бізнес-попит. Якщо POL розроблений і розгорнутий фахівцями, які розуміють, як максимізувати свою цінність, POL має потенціал для значного зниження вартості та збільшення кількості варіантів кабелів, одночасно задовольняючи поточні та майбутні вимоги до пропускної здатності багатьох корпоративних середовищ. На рисунках 2.1 і 2.2 показано два приклади того, як POL може бути розгорнуто для того, щоб використовувати його властиву цінність.

Архітектура на рисунку 2.2 використовує здатність POL об'єднувати мережі голосу, відео та даних в одну оптоволоконну мережу в багатоповерховому готелі. Ця конструкція допомагає значно оптимізувати надання послуг Triple Play у кожній кімнаті, що є важливою відмінністю сучасних закладів гостинності. [4]

OLT зазвичай розташовують у телекомунікаційній кімнаті, куди проходить кабель постачальника послуг із центральних офісів. Кабелі Multi-SMF Riser використовуються для підключення портів OLT EPON або GPON до кожного поверху, а потім

до оптичних розгалужувачів. Одноволоконні горизонтальні кабелі SMF встановлені на кожному поверсі для підключення портів оптичного розгалужувача до кожного ONU, розташованого на столах користувачів або поблизу них.

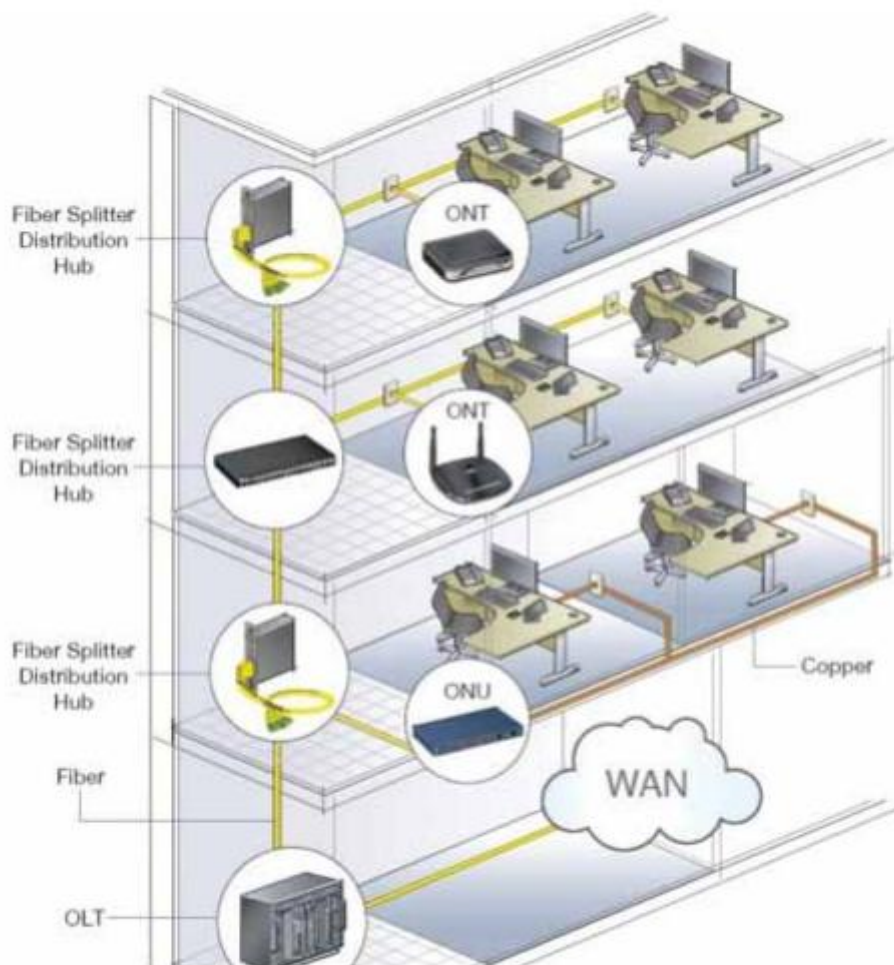


Рисунок 2.1. Типове встановлення POE для багатоповерхового офісного середовища

Кількість оптичних розгалужувачів, необхідних для кожного поверху, і коефіцієнти розподілу для кожного розгалужувача визначаються кількістю груп користувачів на кожному поверсі та їхніми вимогами до пропускну здатності та бюджетом втрат зв'язку, який буде пояснено пізніше.

Оптоволоконні патч-панелі можна використовувати поблизу OLT і поблизу оптичних розгалужувачів на кожному поверсі. Будь ласка, зверніться до Посібника з проектування корпоративного центру обробки даних ComScore, щоб отримати детальні інструкції щодо встановлення вертикальних і горизонтальних кабелів. [3]

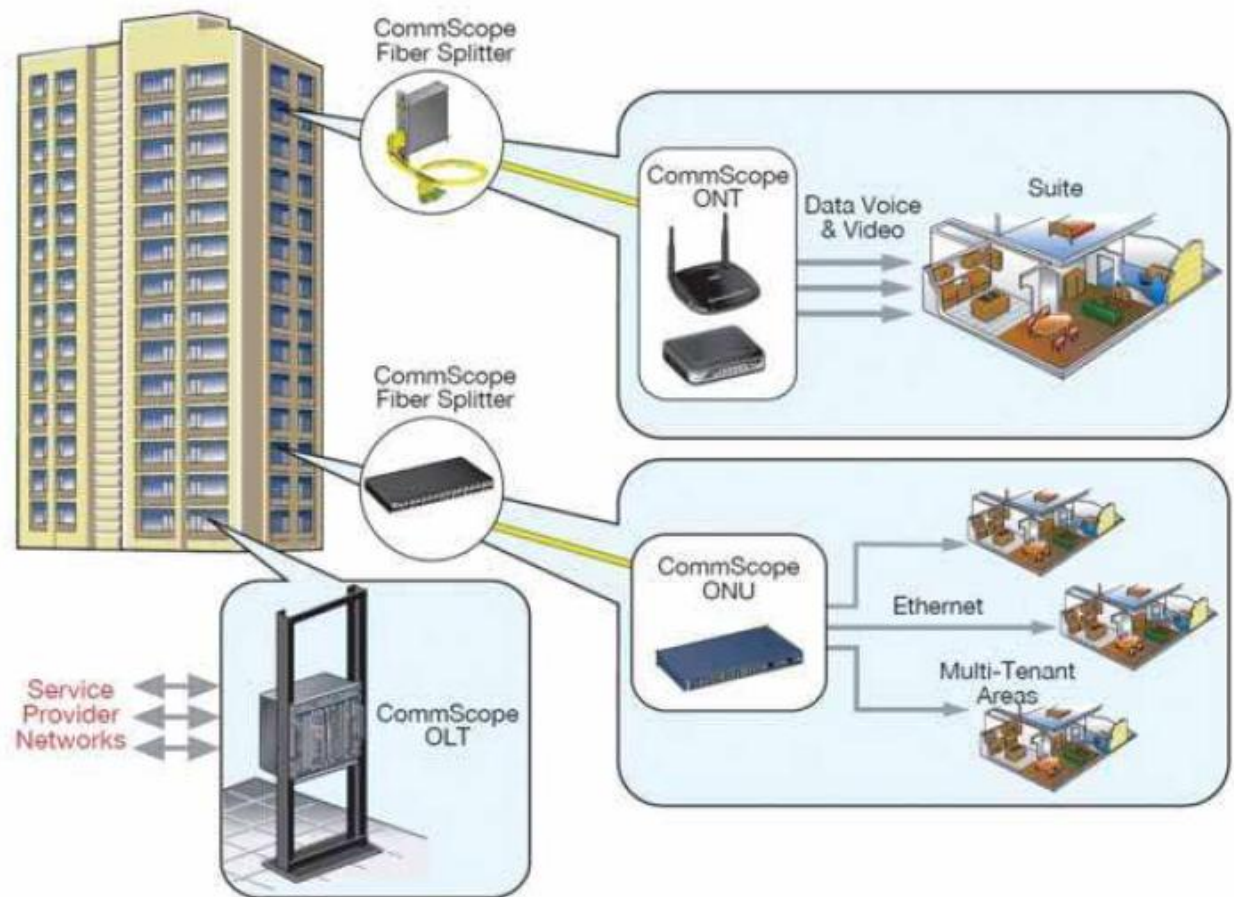


Рисунок 2.2. POL може об'єднати мережі голосу, відео та даних в єдину оптоволоконну мережу в багатоповерховому готелі.

### 2.3. Оптичні термінали (OLT)

Вибираючи OLT, користувач має два варіанти — EPON і GPON. Доброю новиною є те, що сімейство OLT CommScore можна налаштувати для підтримки обох. Інше питання, чи використовувати 1 Гбіт/с чи 10 Гбіт/с. CommScore C9500 EPON OLT може обробляти 1 Гбіт/с і 10 Гбіт/с одночасно, забезпечуючи велику гнучкість проектування мережі. Ключові питання для клієнтів на етапі проектування мережі:

- Скільки користувачів повинна підтримувати мережа і де вони знаходяться?
- Які послуги має надавати мережа?
- Які поточні та майбутні загальні вимоги до пропускної здатності для груп?

OLT дають змогу клієнтам заощаджувати капітальні витрати, розгортаючи базову структуру, а потім оновлюючи за потреби додаткові карти або більшу пропускну



здатність. CommScore пропонує три опції OLT, які підтримують до 5120 ONU і пропонують можливості від 1GE до 10GE.

### **OLT C9016**

Для невеликих розгортань, до 1024 ONU, CommScore рекомендує C9016 OLT (рис. 3). Шасі висотою 2RU має два слоти PIM і підтримує до 1024 ONU із пропускною здатністю до 24 Гбіт/с. Його можна налаштувати для використання в мережах EPON або GPON. Всі модулі підтримують гарячу заміну.



- Total of 16 1Gbps EPON ports
- Support up to 1024 ONUs
- Up to 24Gbps uplink bandwidth

Рисунок 2.3. CommScore C9016 OLT для невеликих розгортань.

Особливості:

- Доступ тільки з передній панелі
- Корпус 19 дюймів, 2RU, три слоти
- Майбутня широкосмугова платформа та багатослотове шасі
- Просте та гнучке розгортання
- Неблокуюча архітектура
- 1 x SCM (модуль комутатора та керування) з 4x1GE та 2x10GE портами висхідної лінії зв'язку
- 2 x PSM (модуль живлення) змінного/постійного струму
- 2x PIM (модуль інтерфейсу PON), вісім портів для карти 1G EPON або 2,5G GPON
- Комутаційна здатність 128 Гбіт/с
- Максимальна споживана потужність: 160Вт
- Оптика PON підтримує лазер класу B+/C+
- Типовий діапазон PON 20 км, максимум 60 км

- Сумісність з IEEE 802.3ah 1G EPON
- Сумісність з ITU-T G.984 2.5G GPON

C9016 має компактний форм-фактор 2RU. Конструкція переднього доступу дозволяє швидко встановити та скоротити час обслуговування. C9016 OLT можна використовувати для різних програм PON, таких як FTTH, FTTN, FTTB і FTTC. Він призначений для прийому 1xSCM, 2xPSM, 2xPIM. SCM має вбудовані 4 порти x1000Base-X (SFP) і 2 порти 10GBase-R (SFP+) для висхідних каналів. Модулі PSM підтримують гарячу заміну та балансування навантаження. Залежно від конфігурації системи PIM можуть бути портами 8x1G EPON або 8x2,5G GPON. [4]

### OLT C9264

C9264 OLT, показаний на рисунку 4, є ще одним багатофункціональним PON OLT високої щільності, великої ємності. Він може підтримувати до 64 портів 1 Гбіт/с EPON або 2,5 Гбіт/с GPON і до 4096 ONU із пропускнуою здатністю до 80 Гбіт/с.



- Total of 64 GPON or EPON ports
- Support up to 4096 ONUs
- Up to 80Gbps uplink bandwidth

Рисунок 2.4. CommScore C9264 OLT — це багатофункціональний PON OLT високої щільності, великої ємності.

C9264, побудований на платформі комутаторів третього рівня високої ємності, є ефективним і економічно ефективним рішенням, оптимізованим для надійної служби Triple-Play (TPS) і не тільки. C9264 має повністю резервовані SCM і PSM для підвищення доступності та надійності. Крім того, C9264 пропонує комутацію рівня 2, маршрутизацію рівня 3, QoS, OAM і функції безпеки.

Особливості:

- Доступ тільки з передній панелі
- Шасі 19 дюймів, 8RU, 12 слотів
- Майбутня ширококутова платформа та багатослотове шасі
- Просте та гнучке розгортання
- Неблокуюча архітектура
- 2 x SCM
- 2 x PSM (48VDC)
- 2 x LIM (лінійний інтерфейсний модуль) з восьми портів карти 1GE або чотирьох портів карти 10GE
- 8x PIM восьми портів карти 1G EPON або карти 2,5G GPON
- Комутаційна здатність 960 Гбіт/с
- Максимальна споживана потужність: 520Вт
- Оптика PON підтримує лазер класу B+/C+
- Діапазон PON: зазвичай 20 км, максимум 60 км
- Сумісність з IEEE 802.3ah 1G EPON
- Сумісність з ITU-T G.984 2.5G GPON

C9264 підтримує майже всі функції, доступні на даний момент для IT-адміністраторів: гнучку конфігурацію VLAN, статистичний моніторинг трафіку та контроль якості обслуговування (QoS). 19-дюймовий корпус 8RU має передній доступ для полегшення обслуговування та повного резервування для всіх критичних компонентів, включаючи PSM, SCM і LIM. C9264 можна налаштувати як мережу GPON або EPON, а всі модулі можна замінювати в гарячому режимі для легкого оновлення. PIM C9264 повністю сумісні з PIM C9016. [3]

### **OLT C9500**

C9500 OLT — це GPON OLT високої щільності, великої ємності та широких можливостей (рис. 5). Він може підтримувати до 80 портів EPON 1 Гбіт/с або 10 Гбіт/с або до 5120 ONU із пропускнуою здатністю висхідної лінії зв'язку до 160 Гбіт/с. Створений на новітній платформі комутаторів рівня 3, він забезпечує все необхідне обладнання для сучасної TPS. Розширені можливості керування пропускнуою спроможністю та трафіком також уможливають майбутні послуги. Конструкція SCM і PSM із

повним резервуванням також підвищує надійність системи та обслуговування. Крім того, C9500 пропонує комутацію рівня 2, маршрутизацію рівня 3, QoS, OAM і розширені функції безпеки, що дозволяє йому адаптуватися до конкретних мережевих політик і конфігурацій.



- Total of 80 1Gbps or 10Gbps EPON ports
- Support up to 5120 ONUs
- Up to 160Gbps uplink bandwidth

Рисунок 2.5. CommScope C9500 OLT — це GPON OLT високої щільності, великої ємності та широких можливостей.

Особливості:

- Доступ тільки з передній панелі
- Шасі 19 дюймів, 10RU, 14 слотів
- Майбутня широкосмугова платформа та багатослотове шасі
- Просте та гнучке розгортання
- Неблокуюча архітектура
- 2 x SCM
- 2 x PSM
- 2 x LIM підтримують восьмипортову карту 1 Гбіт/с або восьмипортову карту 10 Гбіт/с
  - 10x PIM (інтерфейсний модуль GPON) підтримує восьмипортову карту 1 Гбіт/с або восьмипортову карту 10 Гбіт/с
  - Комутаційна здатність 1920 Гбіт/с
  - Максимальна споживана потужність: 1500Вт

- Оптика GPON підтримує лазер класу B+/C+
- Діапазон PON: зазвичай 20 км, максимум 60 км
- Сумісність з IEEE 802.3ah 1G EPON
- Сумісність з IEEE 802.3av 10G EPON

POL від CommScore пропонує операторам високоефективне мережеве рішення «точка-багато точок», яке поєднує послуги голосу, даних і відео в одній пасивній мережі. Клієнти можуть вибрати наші рішення EPON або GPON із різними розмірами розгортання відповідно до свого бюджету та потреб бізнесу. Наші системи EPON/GPON сертифіковані ЛТС Міністерства оборони США (DoD) для використання у військових і державних програмах США. Вони також сертифіковані CableLabs<sup>®</sup> DPoE<sup>™</sup>, що не тільки гарантує взаємодію з різними постачальниками, але також підтримує режим «Turbo EPON», який дозволяє EPON працювати зі швидкістю передачі даних «2 Гбіт/с вниз/1 Гбіт/с угору».

## 2.4. Налаштування та інсталяція OLT

Першим кроком для налаштування OLT є підключення SCM, PSM, PIM або інших модулів до відповідних позначених слотів шасі. Незважаючи на те, що всі модулі підключаються в гарячому режимі, під час транспортування та встановлення все одно необхідно вживати запобіжних заходів щодо електростатичного розряду.

Якщо PSM живиться постійним струмом, для кожного PSM рекомендується джерело живлення постійного струму -48 В x 20 А. При підключенні до джерела постійного струму переконайтеся, що полярність підключена правильно відповідно до етикетки. Два джерела живлення постійного струму на одному шасі OLT рекомендується підключати до окремих блоків живлення ДБЖ для резервування живлення, щоб запобігти одночасному аварійному відключенню живлення. Коли одне джерело живлення вимикається, критичне жовте попередження сигналізує оператору перевірити систему.

Клієнтам рекомендується ознайомитися зі списком затверджених постачальників, щоб придбати трансивери висхідної лінії зв'язку, необхідні для LIM, зокрема 1

Гбіт/с SFP, 10 Гбіт/с SFP+ або 10 Гбіт/с XFP.

Клієнти можуть додавати картки PIM у міру зростання організації. PIM-карти для C9016 і C9264 можна замінити. Усі карти PIM поставляються з відповідними трансиверами GPON або EPON.

Розташування OLT повинно мати хорошу вентиляцію, щоб запобігти перегріву системи. Навколо має бути достатньо місця для ефективної вентиляції вентилятором. C9016 має повітрязабірники/вихлопи з боків, тому ця зона має бути вільною. У моделях C9264 і C9500 використовуються повітрязабірники в нижній передній частині, а вихід повітря — у верхній частині ззаду, тому для належного повітряного потоку слід зарезервувати 1U простору над і під пристроєм. Клему заземлення слід під'єднати до заземлення перед увімкненням живлення системи.

Увімкнувши систему вперше, підключіть консольний термінал (USB) до com-порту SCM за допомогою кабелю, що входить до комплекту, і вкажіть IP-адресу SCM. Після встановлення IP-адреси консольний термінал може спілкуватися з системою через порт Ethernet SCM.

У наведеному нижче списку показано базову конфігурацію OLT, з якої клієнти можуть почати без можливості резервування.

- Один корпус C9016, C9264 або C9500
- Одна карта SCM
- Одна карта LIM і відповідні лінійні трансивери SFP (1 Гбіт/с), SFP+ (10 Гбіт/с), XFP (10 Гбіт/с)
- Одна карта PIM і відповідні трансивери GPON/EPON
- Для початку можна замовити мінімальну кількість трансиверів висхідної лінії зв'язку та трансиверів GPON/EPON і поступово додавати їх у міру зростання[4]

## **2.5. Блоки оптичної мережі (ONU)**

ONU є точкою доступу для кінцевих користувачів і контролюються OLT. ONU обмінюються трафіком між OLT за допомогою протоколу «точка-багато точок» і декодують призначений трафік для кожного кінцевого користувача через порти

Ethernet, відеопорти, голосові порти та підключення Wi-Fi. CommScore має різноманітні ONU EPON/GPON, від однокористувацьких **настільних ONT** до **ONU для робочих груп**, які пропонують високоякісні недорогі рішення. Усі ONU CommScore відповідають галузевим стандартам IEEE (802.3ah) та ITU-T (G.984), мають ідентифікатори логічних каналів (LLID) і забезпечують зворотний зв'язок оптичного сигналу OLT для точної діагностики несправностей. Клієнти можуть вибрати функції відповідно до своїх конкретних комунікаційних потреб.

### *2.5.1. Настільні ONU*

Настільні ONU призначені для розміщення на робочому столі, кріплення на стіні або розміщення всередині корпусу. CommScore виробляє різноманітні моделі настільних ONU. На рисунку 2.6. показано кілька прикладів використання в середовищах GPON і EPON.



Рисунок 2.6. Обладнання настільних ONU CommScore.

Особливості:

- Від одного до чотирьох портів користувача
- Підтримує дані Ethernet, VoIP і аналоговий голос, відео
- Сумісність з 802.3ah EPON або G.984 GPON
- Чотири ідентифікатори логічних послань (LLID)
- Можливість зворотного зв'язку якості послання
- Функції безпеки
- Контроль QoS
- Відстеження протоколу керування групами в Інтернеті (IGMP).

**CS -9004A** ONU розроблено для використання в мережі GPON. Він забезпечує чотири абонентські порти 10/100/1000 Base-T і підтримує стандарт IEEE 802.3ab. Максимальна споживана потужність становить 8 Вт, а джерело живлення 12 В x 1,5 А. **CS-9014A** GPON ONU (без зображення) ідентичний **CS-9004A** та додає радіочастотний відеопорт.

Для середовищ EPON CommScore пропонує настільні ONU **CS-6204W**, **CS-8001A** та **CS-8004A**. **CS -6204W** має чотири порти RJ45 Ethernet (IEEE 802.3-10/100 Base-TX) і IEEE802.11 b/g/n Wi-Fi, а також два звичайних інтерфейси телефонної служби (POTS). Він постачається з джерелом живлення 12 В x 2 А і має максимальне споживання електроенергії 12 Вт. **CS -8001A** (не показано) — це ONU для одного користувача, який забезпечує один порт Ethernet RJ45 IEEE 802.3ab -10/100/1000 Base-T. Він використовує джерело живлення 6Vx2A з максимальним споживанням електроенергії 6W. **CS -8004A** схожий на **CS-8001A** , за винятком того, що **CS-8004A** має чотири порти 10/100/1000 Base-T.

Вибір відповідного робочого столу ONU повністю залежатиме від унікальних вимог вашого середовища. Усі CommScore EPON ONU для настільних комп'ютерів сумісні зі стандартом IEEE 802.3ah і підтримують симетричний зв'язок зі швидкістю 1 Гбіт/с. Деякі, наприклад CS-8001A, також підтримують «Turbo EPON», що дозволяє EPON працювати зі швидкістю передачі даних «2 Гбіт/с вниз/1 Гбіт/с угору» для певних програм. Деякі з них сертифіковані Міністерством оборони JTCS для використання у військових і урядових програмах США. Деякі також сертифіковані CableLabs® для надання DOCSIS EPON (DPoE) для використання в програмах постачальників кабельних послуг. Це забезпечує взаємодію між іншими DPoE-сумісними пристроями та збільшує кількість варіантів постачальників, доступних для використання в корпоративних середовищах. Усі CommScore GPON ONU сумісні з ITU-T G.984 для підтримки асиметричних швидкостей передачі даних 2,5 Гбіт/с у низхідній частині/1,25 Гбіт/с у висхідній частині. [4]



### 2.5.2. ONU робочої групи

ONU для робочих груп розроблено для забезпечення спільної смуги пропускання для всіх користувачів або пристроїв у певній зоні та мають більше портів користувача, ніж ONU для настільних ПК. ONU робочої групи CommScore, показані на рисунку 2.7., забезпечують вісім або 24 порти.

ONU робочої групи CommScore можуть бути встановлені на плоскій поверхні або в стійці. У будь-якому випадку наполегливо рекомендується використовувати захищений корпус, який забезпечує фізичний, механічний захист і захист від навколишнього середовища для кабелю (волоконного та мідного) і компонентів.



CM-6008A

- Desk/flat surface mount
- Eight fast Ethernet (FE) ports
- One fixed EPON uplink port



CM-6024A

- 1U, 19" rack mountable
- 24 FE user ports 100Base-TX
- 2 EPON uplink modules



CM-8024A

- 1U, 19" rack mountable
- 24 FE user ports 1000Base-TX
- 2 EPON uplink modules



CM-7024A

- 1U, 19" rack mountable
- 24 FE user ports with PoE
- 2 EPON uplink modules

Рисунок 2.7. ONU робочої групи забезпечують спільну смугу пропускання для всіх користувачів або пристроїв у межах визначеної області.

CM -6008A має вісім користувацьких портів швидкого Ethernet (FE, IEEE802.3

10/100Base-TX) і вбудований фіксований 1,25 Гбіт/с висхідний порт EPON. Усі інші робочі групи ONU мають 24 користувацькі порти та простір для двох модулів EPON висхідної лінії зв'язку 1,25 Гбіт/с. І **CM-6024A**, і **CM-7024A** підтримують 24 порти FE (IEEE802.3 10/100Base-TX), а **CM-7024A** також підтримує живлення через Ethernet (PoE) і сумісний з IEEE802.3af. **CM-8024A** підтримує 24 порти для кінцевих користувачів 10/100/1000Base-T Gigabit Ethernet (IEEE802.3ab).

На додаток до звичайних робочих груп ONU CommScore пропонує унікальне рішення SFP ONU, яке дозволяє операторам продовжувати використовувати свої поточні комутатори Ethernet під час розгортання POL. Цей ONU, показаний на рисунку 8, має форму звичайного трансивера SFP і може бути підключений до будь-якого Ethernet-комутатора, маршрутизатора або модема з підтримкою SFP. ONU та комутатор Ethernet керуються OLT так само, як і звичайний ONU робочої групи, і комутатор можна налаштувати у внутрішньосмуговому режимі. Це унікальне рішення додатково зменшує капітальні витрати та забезпечує значні переваги в ціні порівняно з іншими системами PON.



Рисунок 2.8. SFP ONU дозволяє операторам використовувати свої поточні комутатори Ethernet під час розгортання POL.

## 2.6. Оптична розподільна мережа (ODN)

Багато з потенційних переваг POL пов'язані з використанням ODN, який використовує пасивні оптичні розгалужувачі для заміни середнього рівня активних комунікаторів у традиційній мережі Ethernet. ODN в основному складається з кабелів SMF, оптичних розгалужувачів, волоконно-оптичних з'єднувачів і деяких інших волоконно-оптичних аксесуарів, таких як патч-панелі та лицьова панель. ODN може становити до 70 відсотків загальної вартості мережі POL. Витрачення часу на ретельне проектування економічно ефективної мережі, яка відповідає потребам вашого фактичного поточного середовища та забезпечує простір для зростання, має вирішальне значення для створення надійної мережевої структури, яка зможе задовольнити ваші довгострокові вимоги до ІТ та бізнесу.

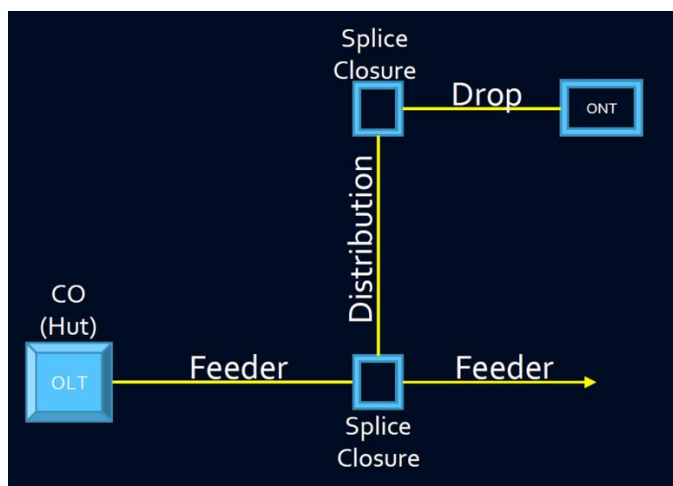


Рисунок 2.9. Оптична розподільна мережа (ODN)

Розробляючи свій ODN, слід пам'ятати про такі речі:

- Під час розрахунку бюджету втрат зв'язку від OLT до ONU включіть додатковий запас для забезпечення надійності мережі
- Статистичні вимоги до пропускної здатності для будь-якої групи на одному порту PON (вище та поза межами бюджету втрати зв'язку) є основним фактором у визначенні коефіцієнтів розподілу
- Для економії оптоволоконних кабелів розгалужувачі слід розміщувати якомога ближче до груп користувачів

- Спеціальні системи безпеки або жорсткі умови можуть вимагати використання певних захищених функцій у ODN
- Щоб забезпечити резервування та підтримку майбутнього розширення, ODN має включати додаткові волокна на жилу або додаткові кабелі
- Майте на увазі 10G PON, інвестуючи спочатку в 1G/2,5G PON ODN [3].

## 2.7. Оптоволоконний кабель

POL використовує SMF на відміну від багатомодового волокна (MMF) або кабелю неекранованої крученої пари (UTP), які використовуються в більшості сучасних локальних мереж. Нечутливий до вигинів SMF не потрібен — підійдуть стандартні кабелі SMF.

### **Оптоволоконні кабелі для FTTx:**

- Одномодове волокно (SMF) використовується в програмі FTTx;
- Оптичне волокно є компонентом передачі ODN.

**Фідерні кабелі** – ці кабелі є основними кабелями, які проходять через населену територію. Збірки зазвичай багаті волокнами, включаючи кількість волокон від 72 до 1728 ниток.

**Розподільні кабелі** - Проміжна ланка між фідерним кабелем і абонентським кабелем.

**Абонентські кабелі** - Традиційно використовується на відкритому повітрі та може бути призначений для повітряних, прямих підземних або каналних кабельних систем.

### **Оптоволоконні з'єднання**

3 основні принципи, які мають вирішальне значення для досягнення ефективного оптоволоконного з'єднання:

- Ідеальне вирівнювання сердечника
- Фізичний контакт
- Незайманий інтерфейс конектора

**Забруднення є джерелом №1 для усунення несправностей в оптичних мережах.**

- Одна частинка, поєднана з серцевиною волокна, може спричинити значне зворотне відображення, внесені втрати та навіть пошкодження обладнання.
- Візуальна перевірка волоконно-оптичних з'єднувачів є єдиним способом визначити, чи справді вони чисті, перш ніж з'єднати їх.

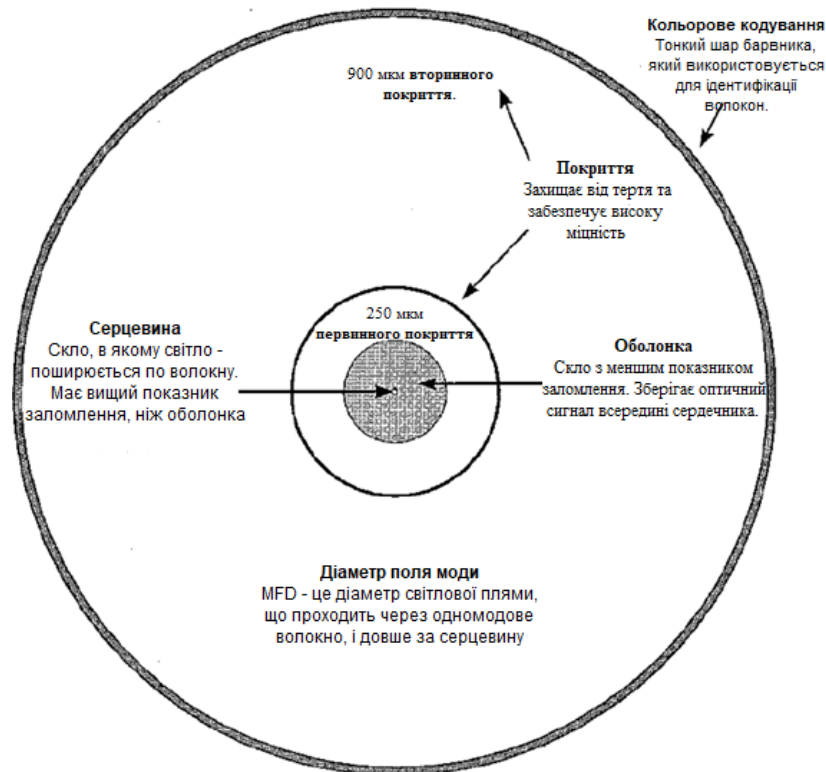


Рисунок 2.10. Оптоволоконні кабелі для FTTx

## 2.8. Оптичний розгалужувач

Окрім кабелів SMF, ще одним основним компонентом ODN є оптичні розгалужувачі. Це суто пасивні пристрої, які розподіляють оптичний вхідний сигнал 1490 нм від OLT порівну між номерами вихідних портів і надсилають його вниз за потоком до ONU. Для висхідного трафіку спліттер служить пасивною точкою агрегації, поєднуючи оптичні сигнали 1300 нм від ONU до OLT.

Хоча сьогодні існують різні технології пасивного оптичного розщеплення, для розгортання FTTx зазвичай вибирають оптичні розгалужувачі на основі планарної

світлохвильової схеми (PLC). Головним чином це пов'язано з тим, що оптичні розгалужувачі PLC засновані на повторюваному якісному процесі виробництва напівпровідникової пластини, що забезпечує рівномірно високу продуктивність і низьку вартість виробництва у великих обсягах. Типові коефіцієнти поділу для комерційно доступних розгалужувачів коливаються від 1x2 до 1x64 і більше. Через компроміс бюджету втрат зв'язку та вимог до спільного використання пропускної здатності типове співвідношення для POL становить 1x32.

На рисунку 2.11 нижче показано кілька оптичних розгалужувачів у портфоліо CommScore POL. До них входять розгалужувач серії 1000/LGX і розгалужувач 1RU для монтажу в стійку. Кожен із них доступний із різними коефіцієнтами розподілу та роз'ємами SC/APC або LC/APC.



(a) 1x16 LGX SC/APC splitter



(b) 1x32 1RU LC/APC splitter

Рисунок 2.11. Приклади оптичних розгалужувачів CommScore.

Як зазначалося раніше, коефіцієнти розподілу повинні визначатися географічним розподілом груп користувачів, очікуваною спільною пропускною здатністю та бюджетом втрат оптичного зв'язку.

## 2.9. Оптоволоконні з'єднувачі

Кілька типів роз'ємів SMF, показаних на рисунку 2.12, призначені для використання з різними інтерфейсами POL. Вони не є взаємозамінними. Для кожного інтерфейсу необхідно використовувати правильний тип роз'єму.

Рисунок 2.12 (а): Інтерфейс для трансиверів висхідної лінії зв'язку OLT (1 Гбіт/с

SFP, 10 Гбіт/с SFP+ або 10 Гбіт/с XFP) використовує дуплексний оптоволоконний роз'єм LC/UPC (ультрафізичний контакт).

Рисунок 2.12 (b): Усі інтерфейси трансиверів OLT PON і більшість ONU для робочих груп підтримують симплексні оптоволоконні роз'єми SC/UPC.



Рисунок 2.12. Типи оптоволоконних з'єднувачів, які можна використовувати в системі POL.

Рисунок 2.12 (c): Усі настільні ONU використовують симплексний оптоволоконний роз'єм SC/APC (кутовий фізичний контакт).

Рисунок 2.12 (d): У межах ODN для всіх з'єднань рекомендовано використовувати роз'єми LC/APC, щоб забезпечити низькі зворотні втрати (RL) і мінімальний шум, викликаний RL, і вплив на стабільність лазера. Хоча доступні версії оптичних розгалужувачів SC/APC і LC/APC, версія LC/APC рекомендована для більшої щільності портів.

Рисунок 2.12 (e): Для польових кінцевих з'єднань CommScore пропонує високоєфективний механічний швидкий з'єднувач без полірування, який встановлюється за допомогою простого та надійного польового інструменту [4].

## 2.10. Інші волоконно-оптичні аксесуари

Інші волоконно-оптичні аксесуари, необхідні при проектуванні ODN, включа-

ють волоконно-оптичні патч-панелі, настінні волоконно-оптичні корпуси, оптоволоконні лицьові панелі настінних розеток і короткі волоконно-оптичні кабелі.

Рисунок 2.13 (а): Приклад оптоволоконних комутаційних панелей, які використовуються для управління оптоволоконними кабелями від OLT до кожного поверху.



Рисунок 2.13. Ці додаткові волоконно-оптичні аксесуари можуть знадобитися під час проектування ODN.

Рисунок 2.13 (b): Оптоволоконні корпуси, що використовуються для розгалужувачів на кожному поверсі.

Рисунок 2.13 (c): Оптоволоконні лицьові панелі на стіні біля кожного столу для оптоволоконного виходу для підключення до кожного ONU.

Під час встановлення ODN використання професійних структурованих кабельних аксесуарів може допомогти забезпечити надійність мережі.

## ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2

POI складається з двох основних активних (з живленням) компонентів — оптичного лінійного терміналу (OLT), зазвичай розташованого в центрі обробки даних або кімнаті з обладнанням, і блоків оптичної мережі (ONU), які надають послуги кінцевим користувачам. Мережа одномодового волокна (SMF) і пасивних (без живлення) оптичних розгалужувачів з'єднує OLT з ONU. Оптоволоконно та пасивне обладнання між OLT і ONU часто просто називають оптичною розподільною мережею (ODN).



У випадку POL нижче наведено кілька прикладів факторів, які слід врахувати:

- Вибір розміру OLT — скільки користувачів потрібно підтримувати
- Географічний розподіл груп користувачів
- Типи мережевих послуг, які будуть підтримуватися, як-от дані, відео, голос, спостереження тощо.

спостереження тощо.

• Вимоги до пропускної здатності для кожної групи користувачів або окремого користувача

- Оптимізація топології оптичної розподільчої мережі
- Оцінка короткострокових капітальних витрат і довгострокових операційних витрат

витрат

- Розміщення ONU на робочому місці

Детальне планування на основі вищевказаних факторів має вирішальне значення для проектування економічно ефективної мережі, яка може задовольнити коротко- та довгостроковий бізнес-попит.

У цьому розділі були розглянуті питання побудови мережі доступу POL на основі FTTH за допомогою обладнання. До обладнання POL відносяться: Оптичні термінали (OLT), блоки оптичної мережі (ONU), оптична розподільна мережа (ODN), оптоволоконний кабель, оптичний розгалужувач, оптоволоконні з'єднувачі та інші волоконно-оптичні аксесуари.

## РОЗДІЛ 3

### РОЗРАХУНОК МЕРЕЖІ ДОСТУПУ POL НА ОСНОВІ FTTH

#### 3.1. Бюджет оптичного зв'язку

Система POL адаптована з класу B+ FTTH PON, який має радіус дії до 30 км. Для більшості корпоративних додатків проміжки зв'язку зазвичай становлять менше 500 метрів. Це означає, що трансивер має достатню потужність для підтримки необхідної кількості ONU на OLT, зберігаючи запас безпеки. Незважаючи на це, користувачі повинні ретельно обчислювати втрати оптичного зв'язку та переконатися, що фактичні вимірювання втрат узгоджуються з розрахунками. Це забезпечить належне встановлення оптоволоконної мережі, а фактичні втрати зв'язку знаходяться в межах діапазону продуктивності трансивера для даного середовища — ключовий фактор для забезпечення надійної системи.

Втрати оптичного зв'язку слід обчислювати, використовуючи специфікації обладнання виробника, фактичну відстань зв'язку, коефіцієнт оптичного розбиття та втрати зв'язку від усіх з'єднань. Майте на увазі, запас втрат у **3 дБ** завжди є хорошою практикою для довгострокової надійної оптичної мережі. Цей запас втрат розроблений таким чином, щоб витримати вплив не лише на навколишнє середовище та вплив тривалості служби на пасивну оптичну мережу, а й на активну електроніку.

Бюджет трансивера OLT/ONU наведено в таблиці 3.1. У таблиці 3.2. наведено загасання для найпоширеніших оптичних розгалужувачів. У таблиці 3.3. наведено інформацію про коефіцієнти втрат для оптоволоконних кабелів і з'єднувачів, які необхідно враховувати, включно з прохідними лініями зв'язку вгорі та вниз. Зауважте, що ONU також мають максимальну потужність прийому. Якщо розподільне волокно не має достатніх втрат, тобто воно не проходить через спліттер, тоді може знадобитися вбудований атенюатор, щоб уникнути пошкодження оптики та забезпечити, щоб потужність була в межах приймача. [5]

Таблиця 3.1.

Бюджет потужності трансивера EPON OLT/ONU.

EPON OLT/ONU	DS (1490 нм)	US (1310 нм)
20 км EPON SFP	28 дБ	28 дБ
30 км EPON SFP	31 дБ	32 дБ

Таблиця 3.2.

Загасання для звичайних оптичних розгалужувачів.

СПЛІТЕР	1x2	1x4	1x8	1x16	1x32	1x64
ВТРАТИ (дБ)	3.8	8	11.5	14.5	18	21

Таблиця 3.3.

Коефіцієнти втрат оптичного з'єднання для оптоволоконних кабелів і з'єднувачів.

З'єднання	SMF (1490 нм)	SMF (1310 нм)	ЗВАРЮВАННЯ	РОЗ'ЄМ SC/LC/APC
Згасання (дБ)	0,25 дБ/км	0,35 дБ/км	0,05 дБ	0,25 дБ

### 3.2. Топології розгортання та розрахунок оптичного бюджету

POL можна розгорнути за допомогою кількох різних архітектур у корпоративній мережі. На рисунках 3.1, 3.2 і 3.3 показано три типові конфігурації. [5]

Централізована розділена архітектура (рис. 3.1) використовує один роздільник для кожного порту OLT PON. Залежно від розташування OLT і груп кінцевих користувачів можна використовувати один або кілька багатоволоконних кабелів для підключення портів OLT PON до кожного розгалужувача, найближчого до груп кінцевих користувачів. Якщо проєктована мережа доступу POL на основі технології FTTH складається з одного розгалужувача із співвідношенням сторін 1:32, де втратою зв'язку буде втрата розгалужувача 1:32 плюс оптоволоконного кабелю та з'єднань.

Припустим, що 500-метровий оптоволоконний кабель від OLT до ONU і шість

пар роз'ємів LC/APC у з'єднанні, то втрати з'єднання будуть такими:

**Downstream:**

- 0,125 дБ (волокно) - 1,5 дБ (роз'єми) - 18 дБ (спліттер) - 3 дБ (запас) = -22,6 дБ

**Upstream:**

- 0,175 дБ (волокно) - 1,5 дБ (роз'єми) - 18 дБ (спліттер) - 3 дБ (запас) = -22,7 дБ

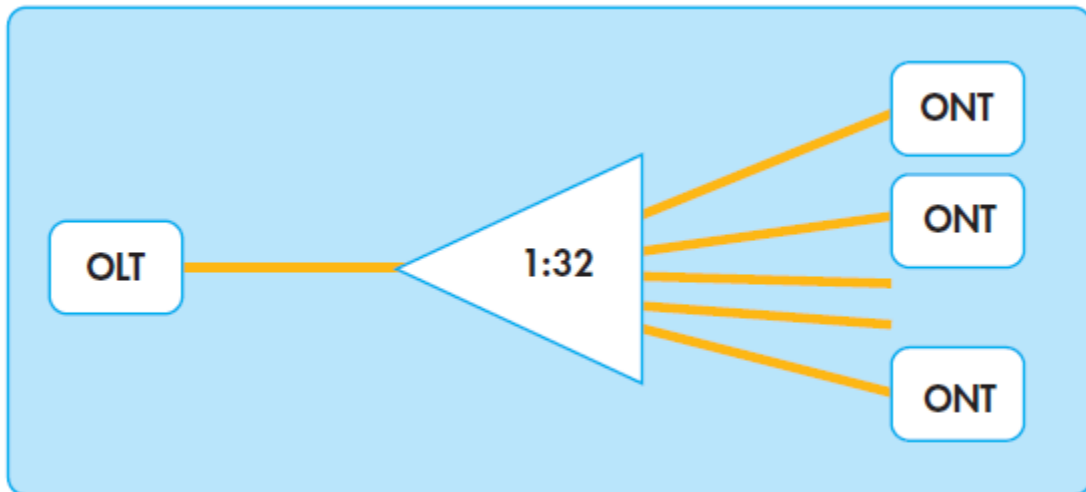


Рисунок 3.1. Централізована розділена архітектура з одним роздільником для кожного порту OLT PON.

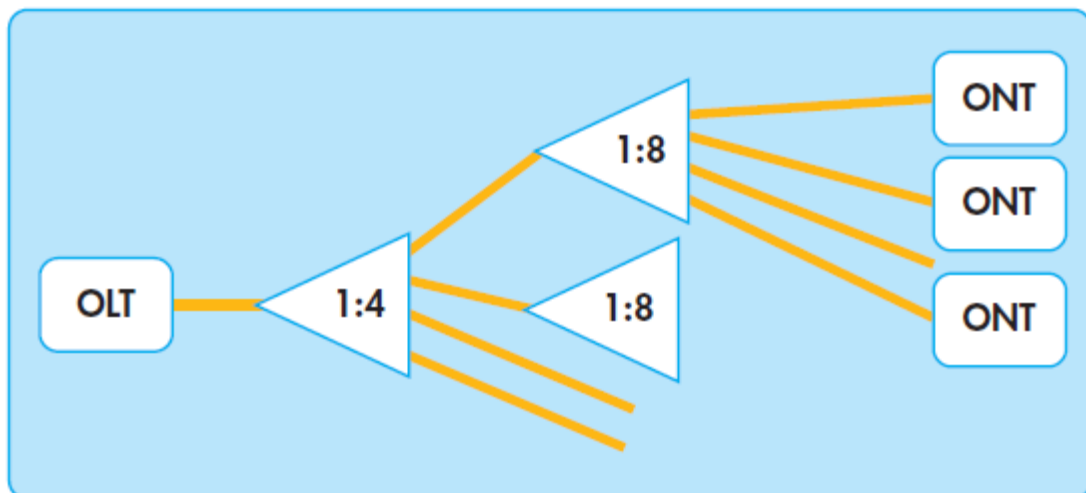


Рисунок 3.2. Розподілена розділена архітектура.

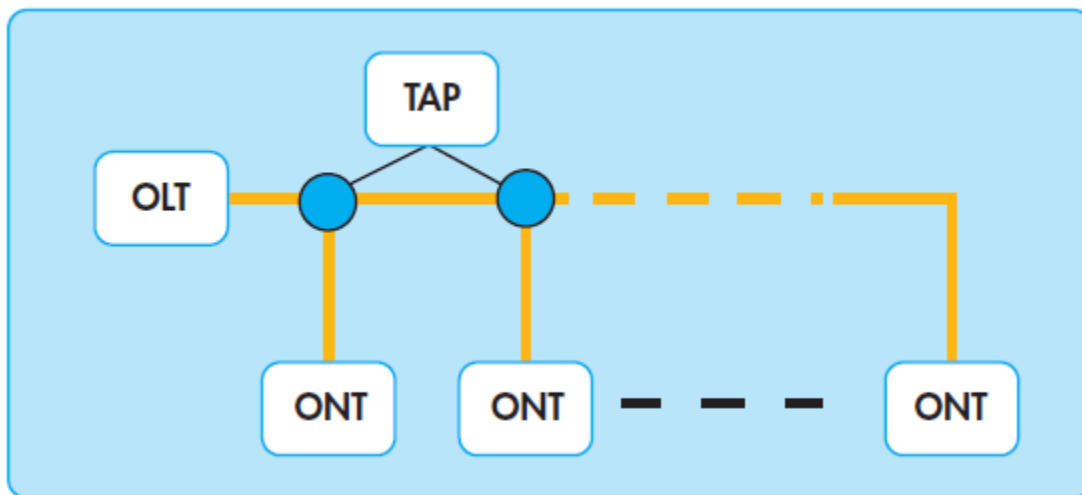


Рисунок 3.3. Архітектура розподіленого відводу.

У розподіленій розділеній архітектурі, зображеній на рисунку 3.2., OLT розташований у центрі обробки даних або іншій точці розподілу. Під час першого поділу магістральний кабель розділяється на кілька ліній, кожна для окремої групи користувачів. Після наближення до кожної групи користувачів сигнал знову розділяється для живлення окремих ONU. Каскад розгалужувачів із різними співвідношеннями забезпечує велику гнучкість конструкції мережі та зменшує кількість волокон у кабелях. Однак під час розрахунку втрат зв'язку необхідно враховувати втрати обох розгалужувачів. [5]

Якщо проектується мережа доступу PON на основі технології FTTH використовує каскад розгалужувачів із різними співвідношеннями: припускаючи, що загальна довжина оптоволоконного кабелю від OLT до ONU становить 2 км і вісім пар з'єднань LC/APC, втрати зв'язку розраховуються таким чином:

**Downstream:**

$-0,5 \text{ дБ (волокну)} - 2,0 \text{ дБ (з'єднувачі)} - 8,0 \text{ дБ (розгалужувач 1:4)} - 11,5 \text{ дБ (розгалужувач 1:8)} - 3 \text{ дБ (запас)} = -25,0 \text{ дБ}$

**Upstream:**

$-0,7 \text{ дБ (оптоволокну)} - 2,0 \text{ дБ (роз'єми)} - 8,0 \text{ дБ (розгалужувач 1:4)} - 11,5 \text{ дБ (розгалужувач 1:8)} - 3 \text{ дБ (запас)} = -25,2 \text{ дБ}$

Третя архітектура, відома як розподілене відведення (Рис. 3.3), використовує нерівномірне розподілення потужності або оптичні відводи, щоб максимально використати наявну пропускну здатність оптоволокна. Наприклад, замість того, щоб розділити одне волокно на 32 однаково навантажених волокна, воно розбивається на два неоднаково навантажених волокна. «Розподільне» волокно зберігає 80 відсотків оптичної потужності, а 20 відсотків перенаправляється на «абонентське» волокно. Ця топологія мережі забезпечує високий рівень використання оптоволокна, і її слід використовувати лише для покриття великих відстаней. Розрахунок втрат зв'язку подібний до наведених вище прикладів, за винятком того, що оптоволоконні кабелі до кожного ONU потрібно розраховувати окремо. [6]

### 3.3 Тестування ODN

Тестування ODN під час польового встановлення слід проводити як у US, так і в DS напрямках. Для EPON або GPON потрібні лазерні джерела 1310 нм, 1490 нм — і іноді 1550 нм для накладання відео — для оцінки внесених втрат (IL) і RL кожного оптичного каналу. Оптичний рефлектометр у часовій області (OTDR) також є хорошим інструментом для усунення несправностей оптичних каналів зв'язку.

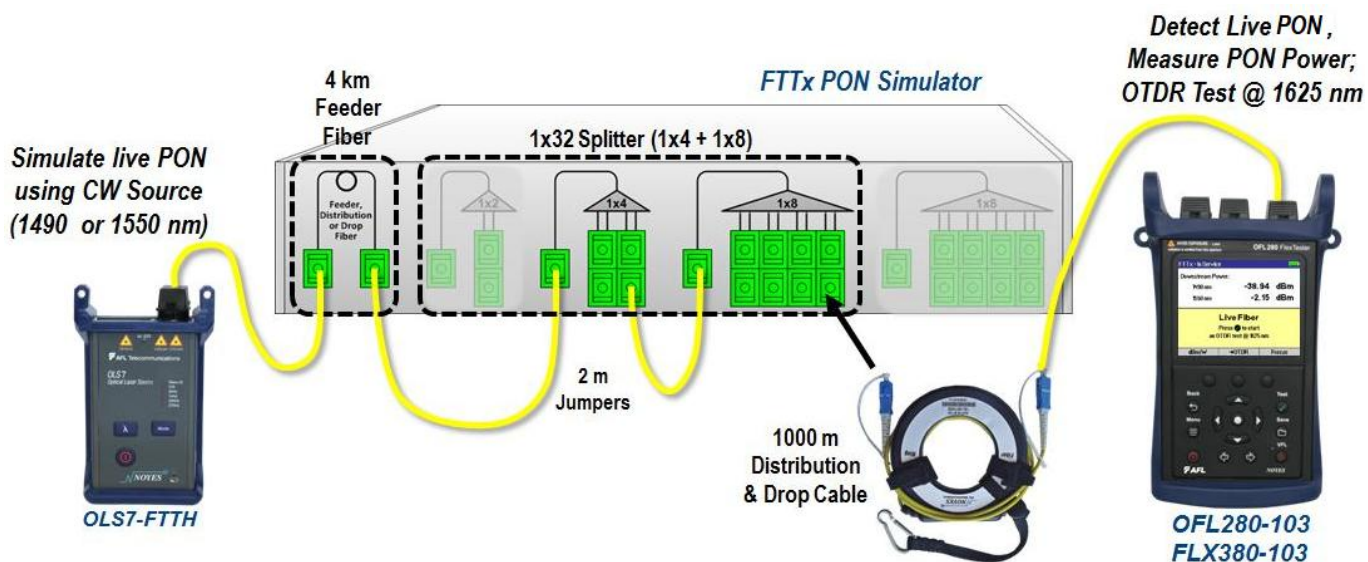


Рисунок 3.4. Тестова схема POL ODN.

Існує багато оптичних лазерних джерел і вимірювачів потужності, які можна

використовувати для тестування ODN. На рисунку 3.4. показано приклад комбінованого лазерного джерела/вимірювача потужності, призначеного для тестування POL ODN. Лазерні джерела включають 1300 нм, 1490 нм і 1550 нм. Вимірювач потужності має вбудований вимірювач OTDR.

Оскільки POL все ще є відносно новим на ринку, стандартні організації знаходяться в режимі «наздоганяння». Асоціація телекомунікаційної промисловості (TIA) додала певний зміст, пов'язаний з POL. TIA-568-C.0-2-2012, Generic Telecommunications Cabling for Customer Premises-Addendum 2, General Updates, опублікований у серпні 2012 року, містить визначення розгалужувача та затухання каналу за допомогою розгалужувача. Він також додає технології PON до таблиць додатків SMF, що містить вказівки щодо підтримки додатків PON на відстані. [6]

### **3.4. Функції безпеки та управління мережею POL**

Рішення POL має кілька настроюваних системних сигналів, що забезпечує надійну безпеку інформації. Наприклад, системи POL дозволяють ІТ-персоналу виявляти та ізолювати фальшиві ONU та забезпечувати фільтрацію керування доступом до медіа (MAC) для внесення в чорний і білий списки пристроїв кінцевих користувачів. Існують також рішення безпеки для державних установ, які потребують мереж зв'язку з фізичною охороною та моніторингом сигналізації. У випадках, коли мережеві кабелі використовуються для передачі незашифрованої секретної інформації про національну безпеку (NSI) через області з меншою класифікацією або контролем, рішення POL можна поєднати з захищеними або тривожними операторами.

Рішення ComScore POL надають мережевим адміністраторам три варіанти доступу та керування мережами EPON або GPON.

- Інтерфейс командного рядка (CLI)
- Система керування елементами (EMS)
- Простий протокол керування мережею (SNMP)

Кожен із цих методів дозволяє адміністраторам керувати налаштуваннями конфігурації, активними компонентами, сигналами тривоги тощо.

### 3.4.1. Інтерфейс командного рядка (CLI)

CLI дає змогу персоналу IT-підтримки використовувати тисячі команд для керування та налаштування POL. Командні рядки можна підключати безпосередньо до блоку керування системою OLT або подавати віддалено за допомогою підключення Telnet через мережу TCP/IP.

### 3.4.2. Система керування елементами (EMS)

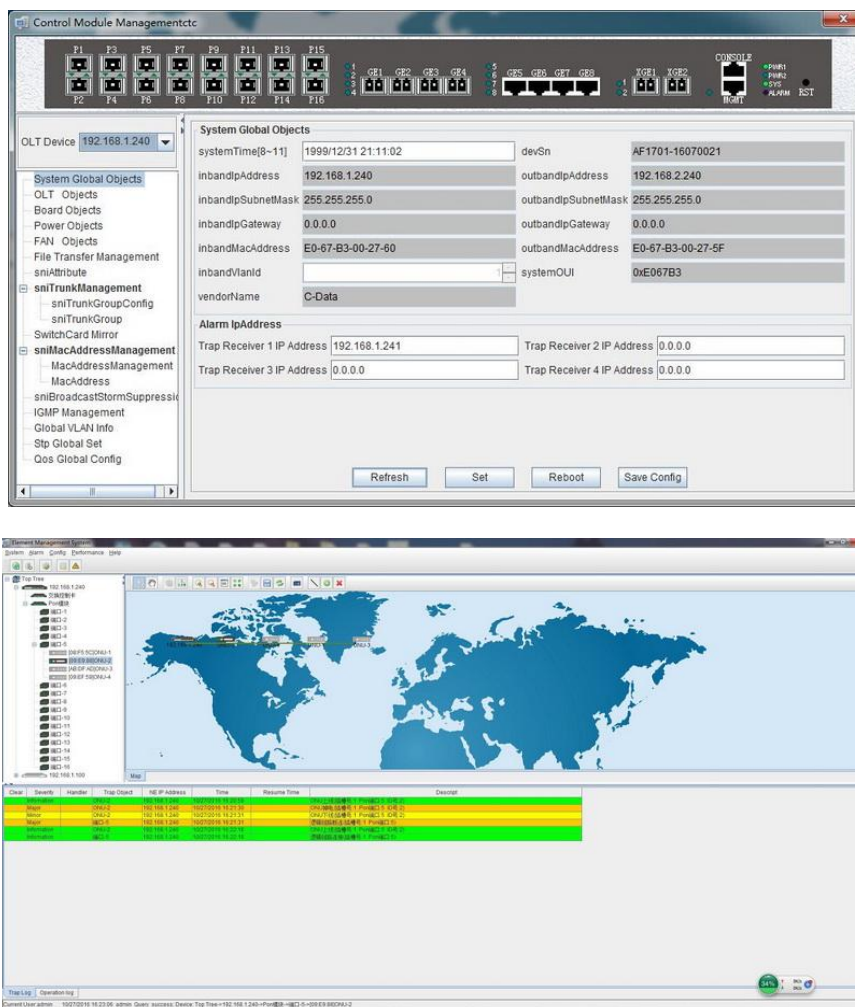


Рисунок 3.5. Пакет керування мережею на основі графічного інтерфейсу EMS підтримує мультиклієнтську архітектуру.

Система керування елементами (EMS) — це додатковий автономний пакет керування мережею на основі графічного інтерфейсу користувача, який знаходиться на сервері та підтримує багатоклієнтську архітектуру. Інтуїтивно зрозумілий інтерфейс надає системним адміністраторам ефективний контроль і управління системами



GPON і EPON POL. Ці можливості включають керування конфігурацією для OLT і ONU, портів, VLAN, багатоадресних операцій і якості обслуговування; моніторинг у реальному часі та керування продуктивністю та сигналами тривоги; статистика трафіку; а також можливість виконувати резервне копіювання системи та оновлення програмного забезпечення. На рисунку 16 показано приклад знімка екрана EMS GUI. [6]

### ***3.4.3. Простий протокол керування мережею (SNMP)***

**SNMP** — це інструмент керування мережею, який зазвичай використовується для агрегування тривог, попереджень і повідомлень про стан у системах вищого рівня, таких як NetCool. SNMP надає загальний набір даних для обміну інформацією із зовнішніми системами. Окрім основних перехоплень, наборів і отримання, системні адміністратори мають повний контроль над параметрами системи.

## **3.5. Прийняття рішення щодо топології та розрахунок обладнання POL**

Якщо вибрано з правильних причин, розроблено таким чином, щоб використовувати його сильні сторони, і правильно встановлено, POL може додати значні переваги корпоративній мережі. Проте цей процес потрібно ретельно продумати. Слід пам'ятати, що оскільки POL є технологією рівня розподілу, вона пропонує велику гнучкість у тому, як її можна розгорнути. Для багатофункціонального кампусу, наприклад, базова мережа Ethernet може охоплюватися від центру обробки даних до окремих будівель, таких як гуртожитки, де оптичні розгалужувачі можуть замінити дорогі розподільні комутатори Ethernet. Потім POL можна використовувати для обслуговування конкретних будівель. Розгорнутий таким чином POL стає частиною гібридного рівня розподілу. [5]

***З урахуванням розрахунку оптичного бюджету мережі доступу на основі FTTH для проєктованої мережі доступу вибираємо централізовану розділену архітектуру з одним роздільником для кожного порту OLT PON мережі POL.***

Розрахуємо перелік матеріалів (BOM) для проєкту мережі POL. Специфікації детально описують активні електронні модулі, пасивні волоконно-оптичні кабелі та

всі необхідні волоконно -оптичні аксесуари.

### *Проектована мережа доступу бізнес-будівлі кампусу.*

У таблиці 3.4 наведено специфікації для проекту бізнес-будівлі кампусу. У цьому проекті потрібен один EPON C9264 OLT з шістьма восьмипортовими картами 1 Гбіт/с EPON PIU і 48 портами EPON, 45 з яких підключені до розгалужувачів 1x32 у різних місцях. Загалом для цього початкового розгортання потрібно 1036 чотири-портових ONU. Загалом це розгортання може підтримувати 4144 користувачів. [5]

Таблиця 3.4

### Перелік матеріалів (bill of material) для проекту бізнес-будівлі кампусу

BRAND	DESCRIPTION	PRODUCT ID	U/M	QUANTITY
Uniprise	1 Port Ivory FP with ID Labels M10LE-246	108333006	EACH	1,036
Uniprise	Faceplate adapter, Blue 25 pack UNFA-EMM-SC01/LC02-BL-PACK-25	760155952	PKG	42
Uniprise	150' Preterm SM 2 Strand Fiber SC/APC to SC/APC, plenum 24in breakout, with pulling grip	FSWSASAW2-JGF150	EACH	204
Uniprise	200' Preterm SM 2 Strand Fiber SC/APC to SC/APC	FSWSASAW2-JGF200	EACH	293
Uniprise	250' Preterm SM 2 Strand Fiber SC/APC to SC/APC	FSWSASAW2-JGF250	EACH	294
Uniprise	300' Preterm SM 2 Strand Fiber SC/APC to SC/APC	FSWSASAW2-JGF300	EACH	245
Uniprise	1 Meter SM PC SC/APC to SC/APC	FEWSASA21-JXM001	EACH	1,036
Uniprise	4RU Rack Mount Fiber Enclosure RFE-SLC-IS-EMT-BK/4U-PNL	760147454	EACH	18
Uniprise	TeraSPEED <sup>®</sup> Panel (1U,2U,4U), Black, With 6 Duplex SC PNL-BK-012-AFA-SC02-GR	760117267	EACH	129
Uniprise	12 Strand Plenum Distribution Cable for Backbone P-012-DS-8W-FSUYL	760004358	100 feet	850
Uniprise	SC/APC QwikII Connectors No Polish Connector SCAPC SM FlatSplice 250/900, 25/package SFC-SCF-09-8A-25-PACK	760184689	PKG	4
Uniprise	3 Meter SM PC SC/APC to SC/APC	FEWSASA21-JXM003	EACH	45
SYSTIMAX	ONU Unit 4 Port	760168914	EACH	1,036
SYSTIMAX	1 X 32 Optical Splitter	760158907	EACH	45
SYSTIMAX	OLT Cards based on 8 Ports Each Line Card, PIM-8E EPON Interface	760169011	EACH	6
SYSTIMAX	EPON C9264 OLT basic system set with chassis, two switching and CPU modules, three fan modules, power cord, and two dc power supplies	760171306	EACH	1
Uniprise	2 Post Racks RK3-45A Black	760082479	EACH	6
Uniprise	10' Section 12" Cable Runway	760085647	EACH	3
Uniprise	Junction Splice Kit	760084046	EACH	2
Uniprise	Butt Splice Kit	760083899	EACH	1
Uniprise	Wall Support Kit	760084145	EACH	4
Uniprise	Ceiling Support Kits	760083907	EACH	12
Uniprise	6" Single Sided Vertical Managers	760089425	KIT	11
SYSTIMAX	(SFP) PIM-8E SFP Transceiver Module, 1 per PON port	460140106	EACH	TBD

## ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3

У цьому розділі були розглянуті питання бюджету оптичного зв'язку. Втрати оптичного зв'язку слід обчислювати, використовуючи специфікації обладнання виробника, фактичну відстань зв'язку, коефіцієнт оптичного розбиття та втрати зв'язку від усіх з'єднань. Майте на увазі, запас втрат у **3 дБ** завжди є хорошою практикою для довгострокової надійної оптичної мережі. Для розрахунку бюджету оптичного зв'язку потрібно враховувати бюджет трансивера OLT/ONU, загасання для найпоширеніших оптичних розгалужувачів, а також коефіцієнти втрат для оптоволоконних кабелів і з'єднувачів, які необхідно враховувати, включно з прохідними лініями зв'язку вгору та вниз.

Розглядалися також різні топології розгортання та був розрахований оптичний бюджет POL. Мережу доступу POL можна розгорнути за допомогою кількох різних архітектур у корпоративній мережі. Існує три типові конфігурації: централізована розділена архітектура, розподілена розділена архітектура, архітектура розподіленого відводу.

Розглянути питання тестування ODN. Яке під час польового встановлення слід проводити як у US, так і в DS напрямках. Функції безпеки та управління мережею POL надають мережевим адміністраторам три варіанти доступу та керування мережами EPON або GPON.

- Інтерфейс командного рядка (CLI)
- Система керування елементами (EMS)
- Простий протокол керування мережею (SNMP)

І наприкінці розділу було прийнято рішення щодо топології та розрахунок обладнання мережі доступу POL на основі FTTH/

## ВИСНОВКИ

PON (пасивна оптична мережа) відноситься до оптоволоконної мережі, що використовує топологію «точка-багатоточка» і волоконно-оптичні розгалужувачі для доставки даних з однієї точки передачі в кілька кінцевих точок. На відміну від AON, кілька клієнтів підключаються до одного приймача за допомогою розгалуженого дерева волокон та пасивних блоків розгалужувачів/об'єднувачів, що працюють повністю в оптичній області та без живлення в архітектурі PON. В даний час існує два основних стандарти PON: пасивна гігабітна оптична мережа (GPON) і пасивна оптична мережа Ethernet (EPON).

Пасивна оптична мережева система POL відрізняється гнучкістю. Декілька терміналів у точках доступу до послуг у радіусі 20 кілометрів об'єднані в мережу системи POL. Система може підтримувати різні бізнес-моделі, адаптуватися до різних робочих середовищ та надавати користувачам рішення серії FTTx.

У роботі були розглянуті питання розширення телекомунікаційних мереж доступу, також розглянуті компоненти класичної мідної мережі доступу та переклад комутованої голосової мережі на IP, що є необхідною умовою для будівництва оптоволоконної мережі доступу, для передачі голосового зв'язку, що починається (і закінчується) як передача VoIP у кінцевого абонента, разом із передачею даних рівномірно базову мережу NGN.

Було проведено аналіз архітектури NGA та представлено огляд етапів розширення оптоволоконної мережі доступу. Також коротко розглянуто технології сімейства GigaBit PON, проведено порівняння волоконно-оптичних топологій PtMP і PtP та описано сегменти мережі послідовного переходу від мідного кабелю до оптоволоконного.

У принципі, питання про паралельне забезпечення також є питанням стратегії переходу мережного оператора щодо клієнтських мереж доступу. Як тільки район буде паралельно забезпечений новою ширококутковою інфраструктурою, всі клієнти

будуть переведені на нову технологію підключення без необхідності зміни чи оновлення контракту.

Архітектура доступу NGA POL складається з двох основних активних (з живленням) компонентів — оптичного лінійного терміналу (OLT), зазвичай розташованого в центрі обробки даних або кімнаті з обладнанням, і блоків оптичної мережі (ONU), які надають послуги кінцевим користувачам. Мережа одномодового волокна (SMF) і пасивних (без живлення) оптичних розгалужувачів з'єднує OLT з ONU. Оптоволокно та пасивне обладнання між OLT і ONU часто просто називають оптичною розподільною мережею (ODN).

У випадку POL нижче наведено кілька прикладів факторів, які слід враховувати:

- Вибір розміру OLT — скільки користувачів потрібно підтримувати
- Географічний розподіл груп користувачів
- Типи мережевих послуг, які будуть підтримуватися, як-от дані, відео, голос, спостереження тощо.
- Вимоги до пропускної здатності для кожної групи користувачів або окремого користувача
- Оптимізація топології оптичної розподільчої мережі
- Оцінка короткострокових капітальних витрат і довгострокових операційних витрат
- Розміщення ONU на робочому місці

Детальне планування на основі вищевказаних факторів має вирішальне значення для проектування економічно ефективної мережі, яка може задовольнити коротко- та довгостроковий бізнес-попит.

Також у роботі були розглянуті питання бюджету оптичного зв'язку. Втрати оптичного зв'язку слід обчислювати, використовуючи специфікації обладнання виробника, фактичну відстань зв'язку, коефіцієнт оптичного розбиття та втрати зв'язку від усіх з'єднань. Майте на увазі, запас втрат у **3 дБ** завжди є хорошою практикою для довгострокової надійної оптичної мережі. Для розрахунку бюджету оптичного зв'язку потрібно враховувати бюджет трансивера OLT/ONU, загасання для найпоширеніших

оптичних розгалужувачів, а також коефіцієнти втрат для оптоволоконних кабелів і з'єднувачів, які необхідно враховувати, включно з прохідними лініями зв'язку вгору та вниз.

Розглядалися також різні топології розгортання та був розрахований оптичний бюджет POL. Мережу доступу POL можна розгорнути за допомогою кількох різних архітектур у корпоративній мережі. Існує три типові конфігурації: централізована розділена архітектура, розподілена розділена архітектура, архітектура розподіленого відводу.

Розглянути питання тестування ODN. Яке під час польового встановлення слід проводити як у US, так і в DS напрямках. Функції безпеки та управління мережею POL надають мережевим адміністраторам три варіанти доступу та керування мережами EPON або GPON.

- Інтерфейс командного рядка (CLI)
- Система керування елементами (EMS)
- Простий протокол керування мережею (SNMP)

І наприкінці розділу було прийнято рішення щодо топології та розрахунок обладнання мережі доступу POL на основі FTTH/

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Braun, M. R.; Wernick, C.; Plückebaum, T.; Ockenfels, M.; Parallele Glasfaserausbauten auf Basis von Mitverlegung und Mitnutzung gemäß DigiNetzG als Möglichkeiten zur Schaffung von Infrastrukturwettbewerb, wik Diskussionsbeiträge Nr. 456, Bad Honnef, Dezember 2019, [https://www.wik.org/index.php?id=meldungendetails&tx\\_ttnews%5BbackPid%5D=85&tx\\_ttnews%5Btt\\_news%5D=2276&cHash=a97dee95eb6b68fe2afefb61d487c806](https://www.wik.org/index.php?id=meldungendetails&tx_ttnews%5BbackPid%5D=85&tx_ttnews%5Btt_news%5D=2276&cHash=a97dee95eb6b68fe2afefb61d487c806).
2. Bundesnetzagentur, Tätigkeitsbericht 2018/2019, Bonn, Dezember 2019, [https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Mediathek/Taetigkeitsberichte/2019/TK\\_20182019.html](https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Mediathek/Taetigkeitsberichte/2019/TK_20182019.html)
3. “CommScope Enterprise Data Center Design Guide,” [www.CommScope.com](http://www.CommScope.com)
4. “Enterprise Design Guide,” [www.CommScope.com](http://www.CommScope.com)
5. “Broadband Applications & Construction Manual,” [www.CommScope.com](http://www.CommScope.com)
6. A.J. Elizondo Armengol and G. M. Gallizo Rueda: MUSE - Network Requirements for multi-service access, November 2004