

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: «НФС мережа»

Виконавець: \_\_\_\_\_ Леонід ЛІСОВСЬКИЙ  
(підпис)

Керівник: \_\_\_\_\_ Геннадій СОКОЛОВ  
(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

Лісовського Леоніда Антоновича

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

1. Тема кваліфікаційної роботи: «НФС мережа»

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: існуюча мережа доступу в межах невеликого міста

4. Зміст пояснювальної записки: аналіз варіантів надання мультисервісних послуг з використанням сучасних технологій абонентського доступу; аналіз стану існуючої мережі зв'язку; проектування мережі абонентського доступу з використанням технології НФС для надання мультисервісних послуг

5. Перелік обов'язкового графічного (ілюстративного) матеріалу: схема організації мережі НФС Evolution в зоні дії АТС; слайди мультимедійної презентації в програмному пакеті Microsoft PowerPoint

## 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	Аналіз варіантів надання мультисервісних послуг з використанням сучасних технологій абонентського доступу	26.05.2023- 29.05.2023	Виконано
4	Аналіз стану існуючої мережі зв'язку	30.05.2023- 07.06.2023	Виконано
5	Проектування мережі абонентського доступу з використанням технології NFC для надання мультисервісних послуг	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)

Геннадій СОКОЛОВ

(П.І.Б.)

Завдання прийняв до виконання

\_\_\_\_\_  
(підпис випускника)

Леонід ЛІСОВСЬКИЙ

(П.І.Б.)

## РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота «HFC мережа» містить 75 сторінок, 29 рисунків, 2 таблиці, 16 використаних джерел.

МУЛЬТИСЕРВІСНА МЕРЕЖА, HYBRID FIBRE-COAXIAL (HFC), ОПТИЧНЕ ВОЛОКНО, КОАКСІАЛЬНИЙ КАБЕЛЬ, ІНТЕРНЕТ, ТЕЛЕБАЧЕННЯ, ТЕЛЕФОНІЯ, DOCSIS, ШВИДКІСТЬ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ, НАДІЙНІСТЬ МЕРЕЖІ, ВАРТІСТЬ РОЗГОРТАННЯ, ЕФЕКТИВНЕ ВИКОРИСТАННЯ РЕСУРСІВ, АРХІТЕКТУРА МЕРЕЖІ, ПРОТОКОЛИ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ, ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ HFC, ГОЛОВНИЙ ВУЗОЛ, ОПТИЧНИЙ ВУЗОЛ, КЛІЄНТСЬКІ ПРИСТРОЇ, ЯКІСТЬ ОБСЛУГОВУВАННЯ, ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ HFC.

**Метою кваліфікаційної роботи** є отримання глибокого розуміння технології HFC, оцінка переваг і обмежень, вивчення ефективності використання ресурсів та надійності мережі, а також аналіз перспектив розвитку цієї технології.

**Об'єктом дослідження** – є фізична інфраструктура мультисервісної мережі HFC та її функціональні та експлуатаційні аспекти.

**Предметом дослідження** – є технологія Hybrid fibre-coaxial (HFC) і її застосування для створення мультисервісної мережі.

**Практичне значення отриманих результатів.** Отримані результати дослідження мають важливе практичне значення для різних зацікавлених сторін, таких як оператори зв'язку, постачальники послуг, технічні спеціалісти та рішення приймальники в цій галузі.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ .....	6
ВСТУП .....	7
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ВАРІАНТІВ НАДАННЯ МУЛЬТИСЕРВІСНИХ ПОСЛУГ С ВИКОРИСТАННЯМ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ АБОНЕНТСЬКОГО ДОСТУПУ ....	11
1.1. Аналіз варіантів побудови мультисервісних мереж .....	11
1.2. Опис видів технологій абонентського доступу .....	13
РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ СТАНУ ІСНУЮЧОЇ МЕРЕЖІ ЗВ'ЯЗКУ .....	31
2.1. Опис наявної DSL-мережі абонентського доступу .....	31
2.2. Аналіз вимог технічного завдання .....	33
2.3. Огляд технології HFC (Гібридна волоконно-коаксіальна мережа) .....	38
РОЗДІЛ 3. ПРОЄКТУВАННЯ МЕРЕЖІ АБОНЕНТСЬКОГО ДОСТУПУ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЇ HFC ДЛЯ НАДАННЯ МУЛЬТИСЕРВІСНИХ ПОСЛУГ .....	46
3.1. Вибір варіанту реконструкції мережі, складання схеми організації зв'язку .....	46
3.2. Рішення HFC Evolution на основі GPON та EPON .....	54
3.3. Схема розподілу обладнання та підключення оптоволоконного кабелю з центрального офісу до квартир .....	59
3.4. Розрахунок навантажень .....	63
3.5. Вибір і розрахунок обсягу обладнання, складання плану розміщення обладнання .....	64
ВИСНОВКИ .....	72
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	74

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

**HFC - Hybrid fibre-coaxial** (Гібридна оптико-коаксіальна мережа).

**DOCSIS - Data Over Cable Service Interface Specification** (Інтерфейсна специфікація передачі даних по кабельному зв'язку).

**FTTH - Fibre-to-the-Home** (Оптичне волокно до будинку).

**DSL - Digital Subscriber Line** (Цифрова лінія передплатника).

**IP - Internet Protocol** (Протокол Інтернет).

**QoS - Quality of Service** (Якість обслуговування).

**Mbps - Megabits per second** (Мегабіти в секунду).

**Headend** - Головний вузол (мультисервісного провайдера).

**Optical node** - Оптичний вузол (в мережі HFC).

**CPE - Customer Premises Equipment** (Обладнання абонента).

**RF - Radio Frequency** (Радіочастота).

**IPTV - Internet Protocol Television** (Телебачення по протоколу Інтернет).

**VoIP - Voice over Internet Protocol** (Телефонія через Інтернет).

**ROI - Return on Investment** (Прибутковість інвестицій).

**CATV - Community Antenna Television** (Громадське антенне телебачення).

## ВСТУП

Нині розвиток телекомунікаційної інфраструктури відбувається нерівномірно. Наявна інфраструктура фіксованого зв'язку в багатьох випадках за якістю, надійністю, рівнем цифровізації та темпами технічної модернізації не відповідає вимогам надання сучасних інформаційно-комунікаційних послуг. Оскільки розвиток місцевих телефонних мереж на базі цифрових АТС дасть змогу поліпшити якість і можливості сервісу за рахунок послуг Інтернету, телематичних служб та інтелектуальних мереж, останнім часом виявилася чітка тенденція переходу з традиційної телефонної мережі на мультисервісну платформу. Устаткування для мультисервісної мережі являє собою складну систему, але сьогодні на ринку вже представлено досить різноманітні технічні рішення для мереж нового покоління, тож технічна реалізація не є проблемою. Під час побудови мережі NGN необхідно, насамперед, вибрати три її складові: транспорт, програмний комутатор і обладнання доступу.

Оператори зв'язку виділяють такі пріоритети розвитку та модернізації своїх мереж:

- впровадження нових технологій та їхня реалізація мають відповідати цільовій моделі NGN-мереж;
- застосування нових технологій має принципово змінити підходи до розгортання та експлуатації мереж зв'язку;
- має відбутися інтеграція телекомунікаційних мереж зв'язку в єдиний інфокомунікаційний простір.

Потреба в широкосмуговому доступі зростає не тільки в кабельних, а й у бездротових мережах, зокрема серед користувачів стільникових мереж зв'язку. Однак пропускна спроможність цих мереж вельми обмежена, оскільки обладнання цього сегмента глобальної мережі працює в діапазоні від 1,3 до 42 ГГц (частота радіонесучої). Мережі стільникового зв'язку відіграють значну і дедалі зростаючу роль у структурі глобальної бездротової мережі, але через зазначені обмеження щодо пропускної спро-

можності вони не можуть забезпечити задоволення потреб у широкосмуговому доступі за одночасного нарощування кількості абонентів. Це завдання успішно вирішується за допомогою кабельної телекомунікаційної мережі на основі волоконно-оптичних технологій.

У зв'язку з наявним попитом абонентів на надання якісних мультисервісних послуг і з необхідністю розширення ємності мережі, доцільно спроектувати нову мережу зв'язку в зоні дії існуючої АТС. Мережа буде реалізована на основі оптично-коаксіальних ліній, які дадуть змогу забезпечити високошвидкісний доступ до мережі Інтернет, високоякісні мультисервісні послуги. При цьому можна відмовитися від необхідності створення численних вторинних мереж, і впровадити нові послуги з різними вимогами до обсягу інформації, що передається, і якості її передачі. Крім того, Оператор зв'язку стане більш високо конкурентним, що призведе до вигідних результатів [1-16].

**Актуальність теми.** Тема "Hybrid fibre-coaxial (HFC) мережа" є актуальною з кількох причин:

- Розширення швидкості передачі даних: HFC є технологією, яка поєднує оптичний кабель (fibre optic) та коаксіальний кабель (coaxial). Це дозволяє досягти високої швидкості передачі даних, що важливо в сучасному світі зі зростанням об'єму цифрових даних і вимог до швидкості Інтернету. Мультисервісна мережа на базі HFC може підтримувати широкосмуговий доступ до Інтернету, телебачення високої чіткості (HDTV), телефонію та інші послуги одночасно.

- Надійність і стабільність: оптичний кабель в мережі HFC забезпечує високу надійність передачі даних, оскільки оптичний сигнал менш схильний до перешкод і електромагнітних впливів порівняно зі звичайними мідними кабелями. Коаксіальний кабель також допомагає забезпечити стабільну передачу даних на користь клієнтів, особливо в областях, де оптичний кабель може бути обмежений.

- Ефективне використання існуючої інфраструктури: HFC використовує існуючі коаксіальні кабелі, які були розгорнуті для кабельного телебачення. Це означає, що оператори мереж можуть використовувати існуючу інфраструктуру, знижуючи витрати на розгортання нових кабелів і спрощуючи процес розширення мережі.



- Підтримка великої кількості користувачів: Технологія HFC дозволяє обслуговувати велику кількість користувачів одночасно. Це особливо важливо в густонаселених районах або великих містах, де попит на швидкий Інтернет і високоякісне телебачення є значним.

- Підтримка мультисервісних послуг: HFC може передавати не тільки дані Інтернету, але й інші послуги, такі як телебачення, телефонія та відеонагляд. Це дозволяє операторам мереж надавати комплексні пакети послуг для клієнтів і сприяє зручності та ефективності.

Загалом, мультисервісна мережа на базі технології Hybrid fibre-coaxial (HFC) є актуальною темою, оскільки поєднує в собі швидкість, надійність, ефективне використання існуючої інфраструктури і підтримку різних послуг. Вона відповідає вимогам сучасного світу і може стати ефективним рішенням для операторів мереж у розгортанні та наданні мультисервісних послуг користувачам.

**Мета і завдання дослідження.** Метою кваліфікаційної роботи є отримання глибокого розуміння технології HFC, оцінка переваг і обмежень, вивчення ефективності використання ресурсів та надійності мережі, а також аналіз перспектив розвитку цієї технології.

Для досягнення поставленої мети вирішуються такі завдання:

- Літературний огляд: провести огляд наукової літератури, технічних статей, документів від провідних постачальників послуг та виробників обладнання, що стосуються HFC. Дослідити історію розвитку технології, основні принципи функціонування, архітектуру та протоколи, які використовуються.

- Аналіз переваг: вивчити переваги мультисервісної мережі на базі HFC порівняно з іншими технологіями передачі даних, такими як DSL (цифрова абонентська лінія) або FTTH (прямий доступ до оптичного волокна). Дослідити швидкість передачі даних, масштабованість, вартість розгортання та підтримку різних послуг.

- Технологічні тенденції та перспективи: дослідити останні технологічні тенденції та інновації в області мультисервісних мереж HFC. Вивчити можливості впровадження нових технологій, таких як DOCSIS 3.1 або Full Duplex DOCSIS, а також перспективи розвитку мережі HFC в майбутньому.

**Об'єктом дослідження** – є фізична інфраструктура мультисервісної мережі HFC та її функціональні та експлуатаційні аспекти.

**Предметом дослідження** – є технологія Hybrid fibre-coaxial (HFC) і її застосування для створення мультисервісної мережі.

**Практичне значення отриманих результатів.**

Отримані результати дослідження мають важливе практичне значення для різних зацікавлених сторін, таких як оператори зв'язку, постачальники послуг, технічні спеціалісти та рішення приймальники в цій галузі.

**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

# АНАЛІЗ ВАРІАНТІВ НАДАННЯ МУЛЬТИСЕРВІСНИХ ПОСЛУГ С ВИКОРИСТАННЯМ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ АБОНЕНТСЬКОГО ДОСТУПУ

### 1.1. Аналіз варіантів побудови мультисервісних мереж

На сьогоднішній день телекомунікаційним Операторам доводиться задовольняти потреби клієнтів у передачі різноманітного трафіку та наданні великого спектра послуг. Серед них найбільш затребуваними є:

- передача традиційного трафіку телефонії;
- організація доступу в Інтернет і передача трафіку Інтернет магістральними каналами;
- передача трафіку корпоративних мереж, об'єднання локальних мереж;
- організація відеоконференцій і передача трафіку IP-телефонії.

Тим часом канали передачі даних, які підходять для надання однієї послуги, не завжди підходять для надання іншої. Збільшення обсягів послуг, що надаються, змушує операторів і провайдерів паралельно розвивати кілька різних мереж. Це вимагає великих витрат і часто пов'язане зі значними технічними труднощами.

Водночас істотно зросла конкуренція між операторами та Інтернет-провайдерами, що надають ці послуги.

Останнім часом дедалі більшої популярності набувають мультисервісні мережі.

Мультисервісна мережа - це інфраструктура, що використовує єдиний канал для передачі даних різних типів трафіку. Вона дає змогу зменшити розмаїття типів обладнання, застосовувати єдині стандарти та єдину кабельну систему, централізовано керувати комунікаційним середовищем для надання найповнішого спектра послуг [1].

Проектування мультисервісної мережі починається з визначення видів послуг, що надаються. Насамперед необхідно вирішити, які послуги надаватиме оператор, оцінити співвідношення різних видів трафіку на поточний момент і спрогнозувати ситуацію на найближчу перспективу.

Після цього можна приступати до вибору технологій, на яких буде будуватися мережа.

### **Опис видів магістральних мережевих технологій**

Сучасна транспортна магістраль повинна відповідати таким вимогам:

- масштабованість, забезпечення розвитку мережі з урахуванням можливого значного зростання;
- висока швидкість передавання даних;
- керованість;
- надійність і можливість резервування;
- безпека інформації;
- забезпечення необхідної смуги пропускання;
- забезпечення необхідної якості обслуговування клієнтів.

Важливою характеристикою магістралі є її протяжність. Очевидно, що оптичний кабель є найкращим середовищем передачі для таких мереж. Втім, у деяких випадках, можливо, більш ефективним буде використання радіорелейних, інфрачервоних ліній чи волоконно-коаксіальних ліній.

Під час вибору технології та варіантів побудови мережі особливу увагу необхідно приділити економічній ефективності. Її можна оцінити, виходячи з вартості рішення на одиницю переданої інформації [1].

Базовими магістральними технологіями на сьогодні є такі технології:

- DWDM;
- SDH;
- БАНКОМАТ;
- POS (Packet Over SONET);
- DPT (Dynamic Pocket Transport - реалізована Cisco Systems технологія RPR);
- Fast/Gigabit/10G Ethernet;

- HFC.

## **1.2. Опис видів технологій абонентського доступу**

У мережу доступу інвестується від 50% до 80% коштів, тому правильний вибір технологій і варіантів побудови мережі надзвичайно важливий. Нижче перелічено фактори, що впливають на вибір тієї чи іншої технології абонентського доступу:

- Вартість підключення в розрахунку на одного абонента.
- Простота підключення - фактор, що визначає доступність підключення для абонентів, швидкість підключення абонентів.
- Достатня для абонента смуга пропускання або швидкість передавання даних.
- Забезпечення необхідної якості обслуговування клієнтів.
- Наявна кабельна інфраструктура - коаксіальний кабель, кручена пара, телефонна проводка, оптичне волокно тощо.

Якщо мережа доступу розгортається на ділянках, де неможливо використовувати наявну кабельну інфраструктуру, потрібно думати про вибір технології "останньої милі". У проєкті необхідно ухвалити рішення: прокласти новий мідний кабель або ж відразу орієнтуватися на оптоволокно? Чи дозволяє рельєф місцевості або погодні умови організувати надійний бездротовий доступ? Як і куди доведеться прокласти новий кабель? Залежно від відповідей на ці та багато інших запитань буде обрано одну з таких технологій доступу:

- PON (пасивні оптичні мережі: GPON, APON, BPON).
- HFC (гібридні волоконно-коаксіальні мережі, кабельні модеми).
- Ethernet/Fast Ethernet/Giga Ethernet з використанням оптичних кабелів [2].

### **Типове рішення з побудови мультисервісної мережі**

Вибір технологій для магістралі та мережі доступу залежить від конкретних умов і визначається цілою низкою чинників, як-от переважний тип трафіку, наявна кабельна інфраструктура та можливість її розвитку, обладнання, що вже експлуатується, та інші.

Однак останнім часом для магістралі все частіше використовується Gigabit (10G) Ethernet, а для мережі доступу - xDSL.

Популярність цих технологій пояснюється їх такими перевагами:

- Відносно низька вартість обладнання.
- Висока пропускна здатність: 1 (або 10) Гбіт/с (Gigabit Ethernet) у транспортній магістралі та 8 Мбіт/с (ADSL), 50 Мбіт/с (VDSL) у мережі доступу.
- Можливість використання наявної кабельної інфраструктури в мережі доступу.
- Високий ступінь інтеграції з наявними клієнтськими мережами.
- Таке рішення дає змогу надавати найбільш затребувані на ринку послуги:
- Доступ до Інтернету для приватних осіб та організацій за виділеними лініями.
- Організація IP VPN для об'єднання малих і середніх офісів і філій.
- Організація IP-телефонії для приватних осіб і організацій.
- Передання відеоінформації [1-2].

Схема побудови мультисервісної мережі представлена на рис. 1.1.

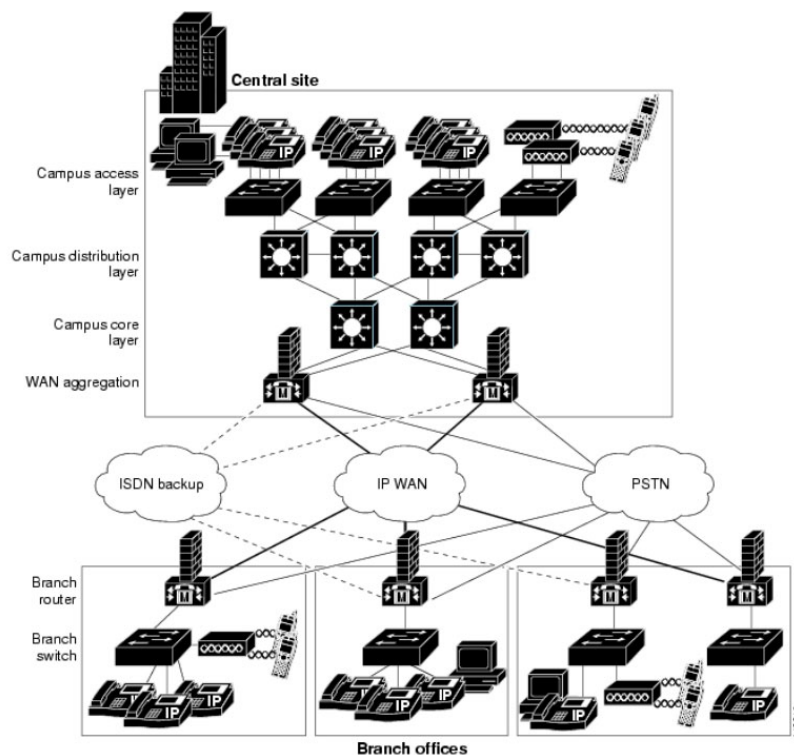


Рис. 1.1. Схема організації розподіленої мультисервісної мережі

Магістральна частина цього рішення реалізована на керованих комутаторах з оптичними гігабітними інтерфейсами, що забезпечує високу пропускну здатність.

Доступ по виділеній лінії організовується на базі DSL концентраторів ZyXEL IES-2000/3000. Концентратори цієї лінійки мають вбудований керований комутатор L2 з підтримкою технологій пріоритетів, черг і віртуальних мереж IEEE 802.1q/p, прозорих для будь-яких мережевих протоколів LAN Ethernet.

Як абонентські пристрої застосовуються DSL модеми ZyXEL Prestige. Вони можуть працювати як мости або маршрутизатори з підтримкою SUA (певний варіант NAT), підтримують до 8 PVC з регулюванням смуги пропускання і політиками маршрутизації. На LAN інтерфейсі підтримується до 3-х IP мереж (Aliases). Підтримка SUA і настроюваних пакетних фільтрів рівнів 2 і 3 дає змогу використовувати ці пристрої як Firewall для невеликих мереж.

Клієнтський трафік збирається за допомогою магістральних керованих комутаторів рівня 2-4, наприклад, Cisco Catalyst 2950. При цьому з трафіком від різних клієнтів можуть бути проведені такі маніпуляції:

Трафік може бути розділений за допомогою технології VLAN IEEE 802.1q, підтримуваної обладнанням Catalyst 2950, DSLAM IES-2000, Prestige 782R і Prestige 842 [2].

Трафік, позначений мітками QoS, може бути класифікований на 2, 3 і 4 рівнях, після чого до нього може бути застосована певна політика QoS.

Швидкість кожного порту Ethernet може регулюватися з кроком 1 Мбіт/с.

Агрегований трафік проходить через центральний маршрутизатор. Для клієнтів його інтерфейси є шлюзами в Інтернет. Трафік кожного клієнта, що пройшов через шлюз, враховується, і дані про нього надходять у білінгову систему.

Як центральний маршрутизатор доцільно використовувати модульні маршрутизатори підвищеної продуктивності - такі, як Cisco 7204 VXR або 7206VXR - з підтримкою широкого спектра середовищ передавання даних, гарячої заміни інтерфейсних модулів і додаткового джерела живлення. Вибір конкретної моделі залежить від ширини каналу, що надається провайдером верхнього рівня, і середнього обсягу споживаного клієнтами трафіку.

Збір інформації для тарифікації може здійснюватися кількома способами:

- Збір статистики трафіку через VLAN Sub-інтерфейси маршрутизатора. У цьому разі трафік від різних абонентів маркується мітками 802.1q та ідентифікується на маршрутизаторі.
- За допомогою програмного забезпечення, сумісного з RADIUS. При цьому модем Prestige 645 з'єднується з маршрутизатором за протоколом PPPoE.
- За допомогою протоколу SNMP. У цьому разі Білінгова система може збирати інформацію від об'єктів, що містять статистику щодо переданих кадрів і пакетів.

Об'єднання телефонних мереж і мереж передавання даних призводить до появи нового класу операторів, які надають послуги інтегрованого широкосмугового доступу безпосередньо абоненту.

Архітектуру таких мереж можна представити у вигляді багаторівневої моделі, в рамках якої абоненти отримують доступ до магістралі за допомогою різних технологій абонентського та мережевого доступу. При цьому тенденція розвитку мереж така, що засоби і системи широкосмугового доступу мігрують з області мережевого, по суті корпоративного, доступу в область абонентського.

Цілком очевидно, що подібного роду тенденція збережеться надалі і призведе до зміни не тільки якості послуг, що надаються, а й самих засобів абонентського доступу. Використовуються абонентські пристрої інтегрованого доступу (IAD). Вони забезпечують абоненту якісно інший рівень звичного сервісу і насамперед передачу даних зі швидкістю 2, 8 і 11 Мбіт/с. Крім того, IAD надають можливість використання в ролі абонентського терміналу звичайний ПК, телефон і факс, що своєю чергою підвищує привабливість цих засобів доступу [2].

Універсальність цих пристроїв, а також систем інтегрованого широкосмугового абонентського доступу з IAD дає змогу використовувати їх і для роботи операторів, і для організації корпоративного мережевого доступу.

Оскільки послуги, що надаються за допомогою таких систем, мають масовий характер, то середовищем передавання слугують або мідні телефонні дроти, або радіо-ефір, будучи найдоступнішими засобами.



## Системи абонентського DSL-доступу

Засоби та системи, орієнтовані на мідно-кабельну інфраструктуру телефонних операторів, використовують технологію DSL-доступу: HDSL, SDSL, ADSL, ADSL2+ та її полегшену версію G.lite [2].

На ринку України представлено кілька виробників подібного роду систем: Orckit, PairGain, RADWIZ (останню компанію нещодавно придбала американська фірма Terayon) та ін. У згаданих системах є мультиплексор доступу DSLAM (центральної пристрій) і абонентська частина. У системах Orckit FastInternet і PairGain AVIDIA абонентську частину представлено насамперед DSL-модемами, у той час як у RADWIZ абонентський пристрій IPair повністю відповідає концепції IAD і складається з SDSL-модема, PCM-перетворювача і повнофункціонального маршрутизатора, об'єднаних в один пристрій.

Технологія передавання абонентського трафіку ТМЗК, що використовується в системах FastInternet і AVIDIA, шляхом частотного поділу мови і даних в ADSL-лінії дає змогу під'єднати на стороні абонента один телефон. Технологія SDSL, що використовує тимчасовий поділ мови і даних, допускає підключення групи телефонних абонентів. Симетричний режим роботи дає змогу говорити про більшу придатність технології SDSL для організації групового (корпоративного) доступу. Однак зниження вартості абонентських пристроїв і переважання на ринку корпоративного користувача дають привід рекомендувати SDSL-доступ для масового застосування як засіб інтеграції традиційних телефонних мереж у мережі передачі даних і навпаки. SDSL відмирає - йому на зміну прийшов SHDSL.

- Система IPTL (IP To the Loop) RADWIZ призначена для віддаленого доступу з інтеграцією послуг зв'язку. Вона одночасно забезпечує абонентам як телефонний зв'язок, так і передачу даних однією виділеною парою мідних дротів.

За допомогою системи IPTL абонент може під'єднати до Internet або до будь-яких локальних мереж із симетричною швидкістю передавання до 2 Мбіт/с одну або дві локальні мережі IP/IPX (10BaseT), які повністю маршрутизуються, скориставшись

статися двома/чотирма аналоговими телефонними лініями FXS або двома інтерфейсами ISDN BRI, а також комбінацією послуг телефонії та передавання даних із новими сервісами (наприклад, VoIP).

Система складається з DSLAM або DSL-концентратора VDAS-3000/300 і абонентського пристрою IPair.

Абонентська частина системи - пристрій IPair - не потребує налаштування з боку абонента. IPair з'єднується з центральним офісом виділеною лінією і по ній же отримує електроживлення. Його управління і налаштування здійснюються з центрального вузла зв'язку, без виїзду фахівця. Дистанційне керування полегшує вирішення й інших традиційних завдань, таких як маршрутизація і виділення IP-адрес. Можливе також налаштування IPair на місці через вбудований термінальний порт.

Недолік технології сімейства xDSL у тому, що відсоток проникнення не повинен перевищувати 25, тому що це призведе до погіршення показників якості, збільшення взаємних впливів у кабелях і зменшення швидкості передачі інформації. Отже, у даному проєкті ухвалено рішення розглянути ще варіант реалізації мережі абонентського доступу на базі протоколу Ethernet (UTP) - прокладання оптоволоконних кабелів на транспортному рівні та на ділянці від АТС до будинку. А по будинку використовуються мідні кабелі з технологією сімейства xDSL або Ethernet.

Широкосмугова мережа загального користування повинна підтримувати поділ трафіку, диференційоване обслуговування (якість обслуговування - QoS), багатоадресні розсилки, бути захищеною, стійкою в роботі та мати програмні засоби управління для ефективної експлуатації та обслуговування.

Механізми розділення трафіку запобігають можливості перехоплення одними користувачами трафіку інших користувачів. Крім того, завдяки цим механізмам забезпечується поділ сервісів і трафіку, різних сервіс-провайдерів, а оператор отримує можливість контролювати, хто з ким спілкується мережею, і відповідно гарантувати, що використовувати ресурси мережі будуть тільки авторизовані абоненти.

Алгоритми QoS дають змогу розділяти послуги, наприклад, на чутливі та стійкі до затримок і втрат пакетів. Чутливі та високооплачувані сервіси можуть отримати

пріоритет в обслуговуванні, що дасть їм змогу нормально функціонувати навіть в умовах пікового навантаження на мережу [3].

Нині єдиним економічно виправданим способом доставки теле- і радіопрограм ширококутовими мережами є багатоадресне розсилання, коли єдиний потік трафіку підводиться мережею.

Максимально близько до адресатів і потім дублюється та доставляється численним кінцевим користувачам.

Забезпечення високих експлуатаційних показників роботи мережі дуже важливе для операторів, оскільки перерви у функціонуванні мережі - це втрачений прибуток. Відмовостійкість мережі важлива і для виконання умов сервісних угод (SLA), підтримання гарної репутації та запобігання відтоку клієнтів.

У мережі Ethernet, побудованій з використанням концентраторів, тільки один пристрій може передавати або приймати дані в конкретний момент часу і всі пристрої ЛОМ конкурують за доступ до середовища передачі. У такій мережі в кращому разі використовується тільки 40% доступної смуги пропускання.

Для використання Ethernet у масштабі АТС, концентратори вже не підходять - необхідні комутатори. Комутатори Ethernet аналізують і обробляють пакети з урахуванням їхніх пріоритетів, а не просто дублюють сигнали в усі свої порти. На комутаторах складається карта Ethernet-адрес мережевих вузлів і забезпечується проходження тільки відповідного трафіку. Не менш важливо й те, що використання комутаторів сприяє значному зростанню продуктивності мережі Ethernet і дає змогу сегментувати її на кілька ширококомовних доменів.

Користувачі, які мають доступ до одних і тих самих сервісних віртуальних локальних мереж ВЛВС, фактично перебувають в одному ширококомовному домені. При цьому нерідко виникають такі проблеми: по-перше, користувачі можуть встановлювати однорангові з'єднання на рівні 2, минаючи сервер ширококутового віддаленого доступу (BRAS), який контролює доступ, містить фільтри безпеки, збирає інформацію для білінгу, розподіляє ресурси; по-друге, зловмисний користувач може здійснювати специфічні атаки (на рівні 2) на системи інших користувачів.

Для усунення цих проблем компанія Ericsson у своєму рішенні Public Ethernet реалізувала такий механізм. Як відомо, взаємодія між пристроями кінцевих користувачів на рівні 2 вимагає знання адрес цього рівня (MAC-адреси). Пристрої дізнаються необхідні MAC-адреси за допомогою запитів протоколу ARP (Address Resolution Protocol). Щоб не допустити "однорангового спілкування" кінцевих користувачів і направити весь потік даних від них до сервера BRAS, на вузлі доступу Ethernet застосовується механізм примусової переадресації. Сервер-посередник ARP у складі вузла доступу не дає змоги користувачам надсилати в мережу ширококомовні запити, видаючи у відповідь тільки MAC-адресу сервера BRAS. Така схема гарантує, що пристрій кінцевого користувача завжди отримуватиме адресу сервера BRAS (а не адреси інших користувачів) і весь трафік кінцевих користувачів піде через нього. Потік даних від користувачів, які намагатимуться порушити це правило, блокується.

У разі доступу за протоколом PPP створюється тунель PPP over Ethernet (PPPoE) між пристроєм користувача і сервером BRAS. Тому два користувачі теж не зможуть безпосередньо зв'язатися на рівні 2.

Специфікація IEEE 802.1p, що є частиною стандарту IEEE 802.1Q, визначає біти пріоритету, які використовуються для забезпечення якості обслуговування в мережах Ethernet. Загалом передбачено вісім рівнів пріоритету, які можна призначити ВЛВС. Якщо в мережі виникає перевантаження, комутатори Ethernet спочатку скидають кадри, що мають менший пріоритет. Застосовуючи правила згладжування (shaping) або зрізання (policing) сплесків трафіку, можна визначити максимальну і мінімальну пропускну здатність для ВЛВС або конкретного користувача.

Алгоритми згладжування буферизують трафік з метою компенсації його різких змін; таким чином, швидкість потоку вирівнюється на тому рівні, який визначено для конкретної ВЛВС. Це дає змогу знизити втрати трафіку, але призводить до додаткових затримок.

Зрізання сплесків трафіку означає, що, щойно швидкість надходження трафіку підходить до межі, визначеної для цієї ВЛВС, пакети починають скидатися. Втрати трафіку збільшуються, але для трафіку, що не виходить за межі пропускну здатності,

гарантуються низькі затримка і джиттер. Ця схема оптимальна для передавання голосу через IP (VoIP) і відеотрафіку.

Поєднання алгоритму IEEE 802.1p з механізмами згладжування або зрізання трафіку дає змогу гарантувати користувачам ВЛВС певні параметри QoS. Коли трафік кінцевого користувача досягає магістральної IP-мережі (сервера BRAS або прикордонного маршрутизатора), різні пріоритети IEEE 802.1p перетворюються на класи DiffServ або експериментальні біти MPLS для того, щоб зберігалася пріоритетність трафіку під час його маршрутизації в магістральній IP-мережі.

Один із методів ідентифікації користувачів у мережі - за їхніми MAC-адресами. Однак йому притаманні деякі серйозні недоліки - наприклад, буває важко проконтролювати, чи справді та чи інша MAC-адреса належить конкретному користувачеві; користувачі можуть легко змінювати свої MAC-адреси; кілька пристроїв з однаковими MAC-адресами можуть з'явитися в мережі доступу Ethernet - або навмисно (спуфінг), або випадково.

Для запобігання подібних проблем у вирішенні Public Ethernet використовуються віртуальні MAC-адреси. На вузлі доступу Ethernet MAC-адресу кінцевого користувача перетворюють на унікальну MAC-адресу (віртуальну MAC-адресу), яка генерується локально. Вона слугує в мережі доступу "псевдонімом" MAC-адреси користувача. Алгоритм, який використовується для генерування віртуальних MAC-адрес, ідентифікує порт і логічне з'єднання з кінцевим користувачем. Відповідно віртуальна MAC-адреса, яка не підконтрольна користувачеві, точно ідентифікує джерело потоку даних. Крім того, ця функція дає змогу оператору захищати мережу від зловмисних користувачів, блокуючи їхні спроби ширококомовно передавати в мережу безліч MAC-адрес із метою викликати перевантаження адресних таблиць комутаторів Ethernet.

Оператори, які застосовують для призначення користувачам IP-адрес протокол DHCP, можуть розширити цю функцію за рахунок опції 82 (DHCP option 82). Під час запиту користувачем IP-адреси вузол доступу Ethernet знаходить запити і модифікує їх, додаючи послідовність символів, що слугує для ідентифікації кожного користувача. Вузол доступу генерує цю послідовність автоматично, визначаючи призначений

для користувача порт, з якого надійшов запит. Також можливо, щоб оператор сам задавав таку послідовність через свою систему управління. Потім сервер BRAS може транслювати таку інформацію, як час і дата ініціації/завершення сеансу зв'язку, IP-адресу та ідентифікатор користувача, у журнал RADIUS. У підсумку оператор отримує можливість у разі потреби відстежувати дії користувача.

Додатковий захист забезпечують різні фільтри, що встановлюються на вузлі доступу Ethernet. Наприклад, можна задати правила обробки трафіку на рівнях 2 і 3. Для запобігання імітації (спуфінгу) IP-адрес вузол доступу можна налаштувати на приймання трафіку тільки з тієї IP-адреси або з тієї IP-підмережі, які призначено користувачеві. Вузол доступу дізнається про призначену IP-адресу або підмережу з відповіді DHCP, що передається з відповідного сервера. Для користувачів зі статичними IP-адресами він отримує їх із системи управління.

Існує кілька служб трансляції (наприклад, телебачення і радіо), які одночасно передають єдиний інформаційний потік багатьом користувачам. Для доставки потоку даних застосовуються два основні способи: адресація конкретному пристрою і багатоадресна розсилка. У першому випадку користувач запитує доступ до потоку даних і потік направляється на його адресу. Незважаючи на простоту організації, таке рішення погано масштабується - уявіть, що одні й ті самі дані доводиться висилати 100 разів для 100 різних користувачів.

За такого підходу економиться пропускна спроможність транспортної мережі та знижується навантаження на контент-сервер, забезпечуючи масштабоване й економічне рішення з надання ширококомовних послуг.

Для функціонування механізму багатоадресної розсилки застосовується спеціальний протокол IGMP, який дає змогу визначати групи для такої розсилки так, щоб маршрутизатор або комутатор міг розпізнати, який трафік якому користувачеві направляти. За допомогою зазначеного протоколу кінцеві користувачі повідомляють мережу про ті сесії багатоадресної розсилки, в яких вони хотіли б брати участь. Вузли доступу Ethernet DSL і комутатори Ethernet в мережі агрегування відстежують запити IGMP з метою визначення та підтримки роботи груп багатоадресної розсилки [3].

Вузол доступу Ethernet також підтримує список IGMP-груп, до яких конкретним користувачам дозволено доступ. Сервіс-провайдери можуть на кожному призначеному для користувача порті задавати обмеження - наприклад, на підключення до IGMP-груп 1-20 (їм можуть відповідати, скажімо, телеканали 1-20). Вузол доступу заблокує будь-які спроби користувачів вибрати IGMP-групи, доступ до яких їм заборонено.

Щоб виконувати умови сервісних угод і запобігати відтоку клієнтів, операторам необхідна відмовостійка мережа. Для цього може використовуватися резервування апаратних засобів конкретних вузлів: одні компоненти резервуються повністю, інші - частково. Створення альтернативних маршрутів для передавання трафіку забезпечить надмірність мережі, яка захистить від збоїв у роботі певного каналу або мережевого елемента.

Застосування двох оптоволоконних кабелів для з'єднання комутаторів Ethernet забезпечить резервування фізичного каналу за схемою 1+ 1, і час перемикання під час аварії в цьому разі становитиме менше 50 мкс.

У відмовостійких мережевих рішеннях також використовується протокол сполучного дерева швидкої збіжності (Rapid Spanning Tree). Цей протокол визначено стандартом IEEE 802.1w і вже широко застосовується в галузі. Він дає змогу перенаправляти призначений для користувача трафік (зазвичай за час до 5 с) через альтернативний маршрут у разі збою на основному маршруті. Це рішення вигідно використовувати при резервуванні на кордоні мережі (наприклад, на рівні вузла доступу Ethernet DSL) - там щільність комутаторів Ethernet, каналів і ВЛВС невелика, і в разі поодинокого збою збиток завдається лише невеликій частині користувачів.

Протокол автоматичного захисного перемикання Ethernet (Ethernet Automatic Protection Switching - EAPS), описаний у документі RFC 3619, застосовують у мережах, побудованих за кільцевою топологією, де головний вузол перенаправляє трафік у разі аварії. Час аварійного перемикання EAPS - менше ніж 50 мс; це забезпечує необхідний рівень стійкості в мережі агрегування, у якій одна відмова може порушити обслуговування великої кількості користувачів [1, 3].

Перераховані вище механізми дають змогу операторам будувати мережі Ethernet з коефіцієнтом доступності 99,999%.

Перш ніж оператори почнуть будувати свою інфраструктуру і надавати послуги, вони повинні подумати про ефективне рішення з управління телекомунікаційними системами. У ньому мають бути враховані засоби управління мережевими елементами (element manager), які забезпечують управління обробкою відмов, конфігурацією, продуктивністю та управління безпекою вузлів доступу Ethernet.

Ще один важливий засіб - менеджер з'єднань Ethernet (connection manager), що забезпечує наскрізне конфігурування ВЛВС і мережесих ресурсів. Він повинен підтримувати різноманітні типи мережевої топології та обладнання різних виробників. Зібрані в базі даних відомості про мережу та її топологію будуть корисними не тільки під час розв'язання завдань її поточної експлуатації, а й під час планування майбутнього розширення.

Переваги ширококутового доступу Ethernet очевидні, але далеко не всі оператори можуть почати будівництво всієї інфраструктури "з нуля". І компаніям з розгалуженими транспортними мережами ATM і SDH необхідно знайти спосіб використовувати переваги Ethernet. З цією метою виробники телекомунікаційного обладнання пропонують низку рішень з організації взаємодії між мережею доступу Ethernet і наявними транспортними технологіями. В таких рішеннях передбачається, зокрема, передача трафіку Ethernet мережами ATM, SDH і PDH.

Варіант реалізації мережі абонентського доступу на базі FTTx (ОВ)- до будинку FTTB [2, 4].

Гібридні оптико-коаксіальні мережі (HFC - Hybrid Fiber Coax) будуються за трьома основними технологіями (рис. 1.2):



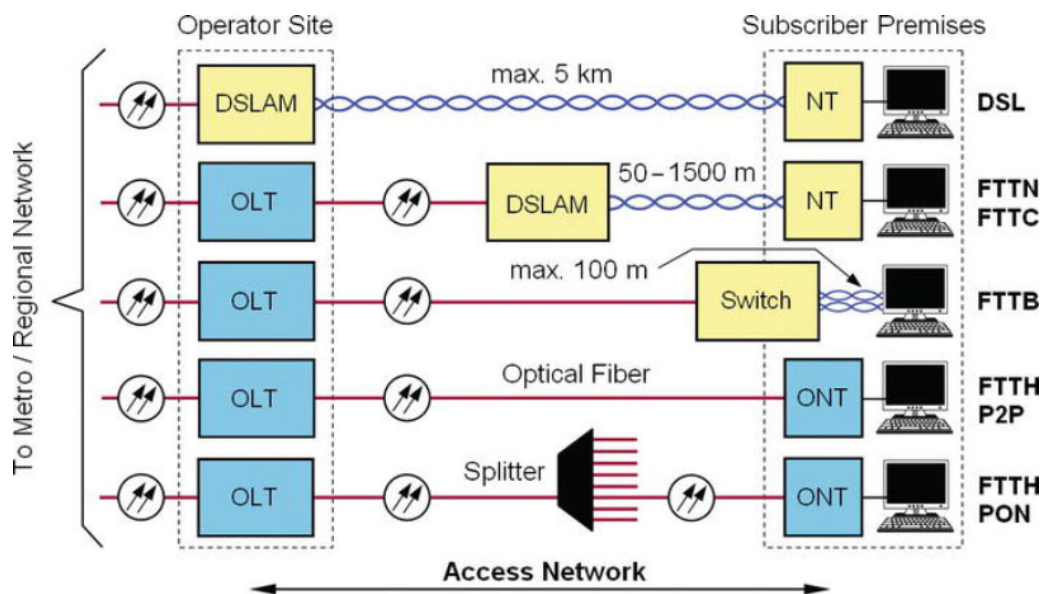


Рис. 1.2. Гібридна оптико-коаксіальна мережа

FTTH (Fiber To Home) - оптика до дому;

FTTB (Fiber To Building) - оптика до будівлі (будови);

FTTC (Fiber To Carb) - оптика до групи будинків.

Під FTTH зазвичай розуміють технологію, за якої оптичний приймач встановлюється у кінцевого індивідуального абонента. Це може бути або окремих будинок котеджного типу, або квартира в багатоповерховому блочному будинку. Стосовно до умов експлуатації таке рішення є дуже дорогим, тому що вимагає великої кількості оптичних передавачів (ціна на які набагато вища за ціну на оптичні приймачі). У зв'язку з цим, під FTTH розуміють суто волоконно-оптичні лінії зв'язку (ВОЛЗ), виходи оптичних вузлів (ОВ) яких безпосередньо (тобто без додаткових підсилювачів) пов'язані з абонентськими терміналами, наприклад, STB (Set-Top-Box) або телевізором. Очевидно, що використання технології FTTH має на увазі під собою більшу число ОУ та більш протяжні ВОЛЗ порівняно з будь-якою іншою технологією (FTTC або FTTB). Технологія FTTH має такі відмінні риси: Більш висока надійність. Дійсно, всі мультисервісні мережі передавання даних і телебачення (МСС) побудовані тільки з використанням оптичних активних компонентів, як правило, мають дуже високу надійність. Важливий і той факт, що відпадає необхідність у використанні дистанційного (тобто по коаксіальним кабелям) живлення, яке часто доставляє багато клопоту

кабельним операторам. Більше того, якщо передбачити резервні оптичні волокна (ОВ) у волоконно-оптичному кабелі (ВОК), з'являється можливість реалізації ручного та/або автоматичного резервування як за напрямками (кільцеве резервування), так і за жилами з мінімальними витратами [4].

Простота переконфігурації мережі завдяки встановленню в основних вузлах розподілу оптичних кросових шаф. Перекомутація здійснюється завдяки найпростішій переустановці патчкордів за відповідними напрямками (за допомогою пігтейлів). Простота побудови паралельних мереж є однією з найважливіших переваг. Адже ВОЛЗ є ідеальною багатоканальною (на фізичному рівні) транспортною мережею з чудовими особливостями: надширокопasmовий діапазон, завадозахищеність від усіх видів електромагнітних наведень, малі погонні втрати, низька чутливість до температурних впливів, високий захист від несанкціонованого підключення та ін. Найчастіше в таких мережах послуги передавання даних (включно з доступом до Internet) реалізують із використанням Ethernet-технології, як найбільш універсальної та швидкісної.

Можливість відмови від реверсного каналу в традиційних НФС мережах. Така можливість з'являється за наявності паралельних Ethernet мереж, які від самого початку є двонаправленими. До речі, реалізація послуг передавання даних у МСС на базі паралельних Ethernet мереж дає змогу домогтися додаткової економії завдяки використанню економічних ОУ без передавачів реверсного напрямку.

Значне зниження шумів інгресії в реверсному каналі за умови достатності приймачів реверсного напрямку (Upstream). За грубою оцінкою можна вважати, що реалізоване відношення несуча/шум  $C/N_H$ , сформоване за технологією FTTH з числом абонентів  $N_H$ , більше за аналогічне  $C/N_C$ , реалізоване за FTTC з числом абонентів  $N_C$  на величину:

$$(C/N_H - C/N_C)_{[dB]} = 10 \lg \left( n \cdot \frac{N_C}{N_H} \right), \quad (1.1)$$

Тут  $n$  - число каналів у реверсному напрямку, що відрізняються за частотою.

Так, для  $n = 3$ ,  $NC = 800$  і  $NH = 100$ , відмінність становить 18,8 dB, що дає змогу сміливо перейти на вищий формат модуляції (наприклад, з QPSK на 16 QAM або навіть 64 QAM) і реалізувати значно вищі швидкості інформаційних потоків (у цьому разі вдвічі) за інших рівних умов.

Більш високі швидкості цифрових потоків у реверсному напрямку за незмінної кількості частотних каналів завдячують винятково числу upstream-приймачів, що встановлюються у складі головної станції кабельних модемів (CMTS). Іншими словами, якщо за FTTC технології нарощування числа upstream-приймачів не мало практичного сенсу через значну величину  $C/NC$ , то за FTTH технології має явний сенс нарощування таких приймачів. Ба більше, такі приймачі можуть уже працювати як за змішаної оптичної технології на одній частоті, так і за класичної технології (upstream-приймач на кластер або сегмент) на кількох частотах.

Простота реалізації нових цифрових технологій, що накладаються на вже наявні FTTH мережі. Класичним прикладом може слугувати нова перспективна технологія EtoH (Ethernet to the Home), розроблена компанією Teleste (Фінляндія), яка набуває дедалі більшого поширення по всьому світу.

У всьому світі. Спрощену схему задіяння такої технології стосовно FTTH показано на рис. 1.3. Технологія FTTH, за більш низьких витрат, як порівняти з DOCSIS, дає змогу досягти швидкості в 100 Мбіт/с у прямому та реверсному напрямках під час швидкого розгортання Internet, VoIP, IPTV та ін. Дуже важливим є той факт, що швидке розгортання технології FTTH можливе навіть на вельми застарілих мережах, що працюють до 240 МГц, що вигідно відрізняє її від інших пропонованих технологій [1-3].

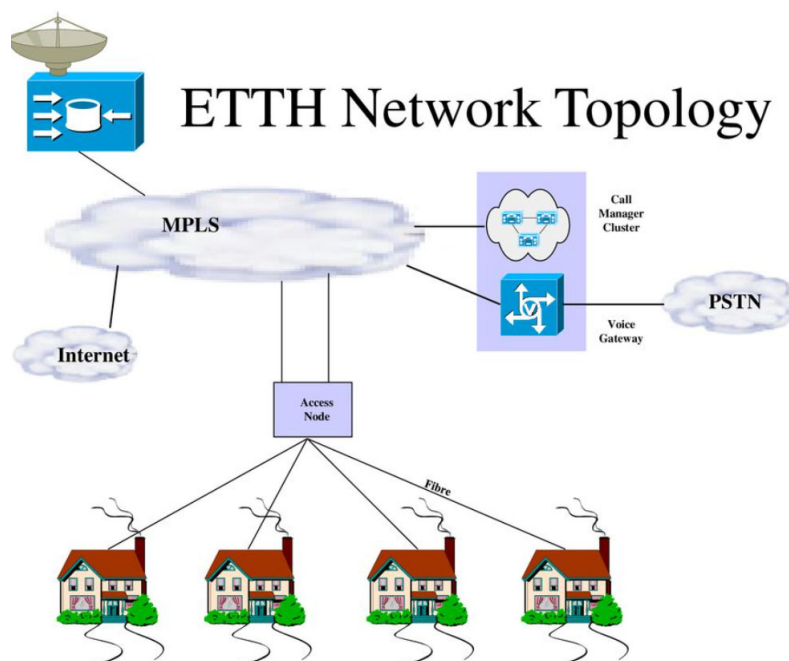


Рис. 1.3. Спрощена схема технологія ETTH

Високе енергетичне завантаження в частині реалізованих значень за CSO/CTB (інтермодуляційні спотворення другого і третього порядків) і C/N.

Дійсно, структурно будь-яку МСС у загальному випадку можна умовно розділити на функціональні зони, що відрізняються фізичними особливостями, а також специфікою розрахунку і побудови. При цьому деякі з функціональних зон можуть бути відсутніми (наприклад, вторинна ВОЛЗ, вторинна головна станція - ВГС або цифрова транспортна магістраль).

При цьому вимоги до будь-якої з функціональних зон насамперед формуються виходячи з економічної доцільності з урахуванням топологічних особливостей і структурної побудови МСС. Так, наприклад, для FTTC технології на кожен магістральний підсилювач зазвичай припадає до 4...8 будинкових підсилювачів (табл. 1.1). Отже, більша частина фінансових витрат на коаксіальні кластери складатиметься з вартості будинкових підсилювачів. З огляду на це, саме на них доцільно перенести максимальне енергетичне завантаження МСС (з метою їхньої мінімізації, тому що за підвищеного вихідного рівня підсилювач здатний буде обслуговувати більшу кількість абонентів). Так само йде справа і з технологією FTTH, в якій основні фінансові витрати будуть визначатися вже вартістю ОУ.

Не вдаючись у математичний аналіз, можна сформулювати такі висновки та рекомендації:

Мережі з FTTH технологією дещо дорожчі за аналогічні мережі з FTTC технологією. Різниця в ціновій політиці зазвичай становить близько 10-30 %.

Без урахування вартості додаткового обладнання для надання послуг із передавання даних і правильного вибору обладнання за ціновою політикою з урахуванням специфіки структури FTTH-мережі, різниця в сумарній вартості може бути зведена до нуля.

Мережі побудовані за технологією FTTB близькі за своїми особливостями до FTTH мереж, проте дещо дешевші за FTTH мережі і дорожчі за FTTC мережі.

Мережі, побудовані за технологією FTTH, завдяки багатожильній оптиці, що прокладається, допускають одночасне накладення перспективних високошвидкісних універсальних Ethernet мереж.

Новозбудовані мережі доцільно відразу будувати за технологією FTTH з подальшим їх нарощуванням до паралельних мереж.

Для операторів, які вже експлуатують HFC класичну мережу, не має сенсу кидатися до тотальної перебудови своєї мережі до технології FTTH. Логічніше діяти поетапно, підтягуючи оптику ближче до абонента, але при цьому одразу резервувати ОВ під майбутні перспективні цифрові технології. Цей варіант є більш підходящим для АТС.

Необхідно провести техніко-економічне обґрунтування і видати рекомендацію щодо впровадження однієї з розглянутих технологій.

Не вдаючись у математичний аналіз, можна сформулювати такі висновки та рекомендації:

Мережі з FTTH технологією дещо дорожчі за аналогічні мережі з FTTC технологією. Різниця в ціновій політиці зазвичай становить близько 10-30 %.

Без урахування вартості додаткового обладнання для надання послуг із передавання даних і правильного вибору обладнання за ціновою політикою з урахуванням специфіки структури FTTH-мережі, різниця в сумарній вартості може бути зведена до нуля.

## Типові рішення до складових МСС [5]

Типові вимоги до складових МСС для технології FTTC							
<b>BER</b>	$10^{-12} \dots 10^{-10}$	$<10^{-9}$	$<10^{-8}$	$<10^{-9}$	$<10^{-8}$		$<10^{-7} \dots <10^{-4}$
<b>C/N, дБ</b>	60...76	64..77	54..66	47..52	51..56	55..60	>43..44
<b>CSO, дБ</b>	95..100	-	85..95	62..68	63..68	58..64	>54..57
<b>CTB, дБ</b>	95..105	-	90..100	64..72	64..72	58..64	>54..57
Типові вимоги до складових МСС для технології FTTH							
<b>BER</b>	$10^{-12} \dots 10^{-10}$	$<10^{-9}$	$<10^{-8}$			$<10^{-7} \dots <10^{-4}$	
<b>C/N, дБ</b>	60...76	64..77	54..66	44..45		>43..44	
<b>CSO, дБ</b>	95..100	-	85..95	54..58		>54..57	
<b>CTB, дБ</b>	95..105	-	90..100	54..58		>54..57	

Мережі побудовані за технологією FTTV близькі за своїми особливостями до FTTH мереж, проте дещо дешевші за FTTH мережі і дорожчі за FTTC мережі.

Мережі, побудовані за технологією FTTH, завдяки багатожильній оптиці, що прокладається, допускають одночасне накладення перспективних високошвидкісних універсальних Ethernet мереж.

Новозбудовані мережі доцільно відразу будувати за технологією FTTH з подальшим їх нарощуванням до паралельних мереж.

Для операторів, які вже експлуатують HFC класичну мережу, не має сенсу кидатися до тотальної перебудови своєї мережі до технології FTTH. Логічніше діяти поетапно, підтягуючи оптику ближче до абонента, але при цьому одразу резервувати ОВ під майбутні перспективні цифрові технології. Цей варіант є більш підходящим для АТС [5].

## РОЗДІЛ 2

### АНАЛІЗ СТАНУ ІСНУЮЧОЇ МЕРЕЖІ ЗВ'ЯЗКУ

#### 2.1. Опис наявної DSL-мережі абонентського доступу

Принцип роботи DSL-мережі абонентського доступу, яка обслуговує 30% абонентів мультисервісними послугами, показано на рисунку 2.1.

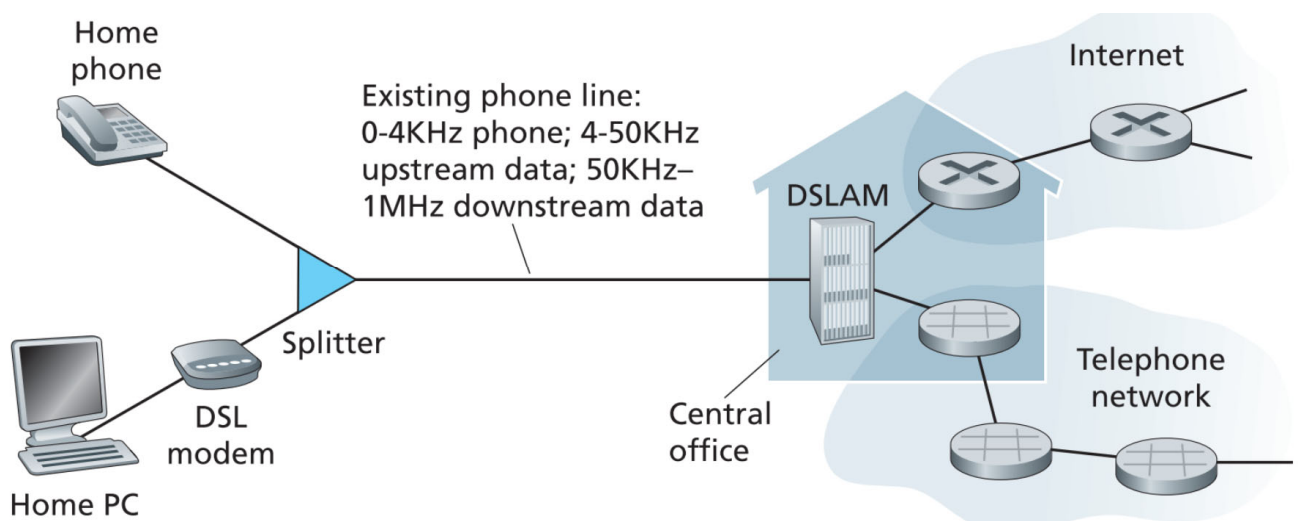


Рис. 2.1. Принцип роботи DSL-мережі абонентського доступу

В автозалі АТС стоїть обладнання DSL (спліттер), в якому здійснюється кросування високочастотних сигналів і частотний поділ. З боку користувача стоїть модем і відповідно частотний роздільник, який здійснює розподіл сигналів залежно від того, якого виду передаються послуги (телефонія, відео або передача даних). Швидкість низхідного потоку - 8 Мб/с, швидкість висхідного потоку - 640 Кб/с.

Для забезпечення телекомунікаційними послугами застосовували два методи побудови мережі абонентського доступу від АТС (див. рис. 2.2), що лягли надалі в основу мережі DSL: шафовий і безшафовий методи.

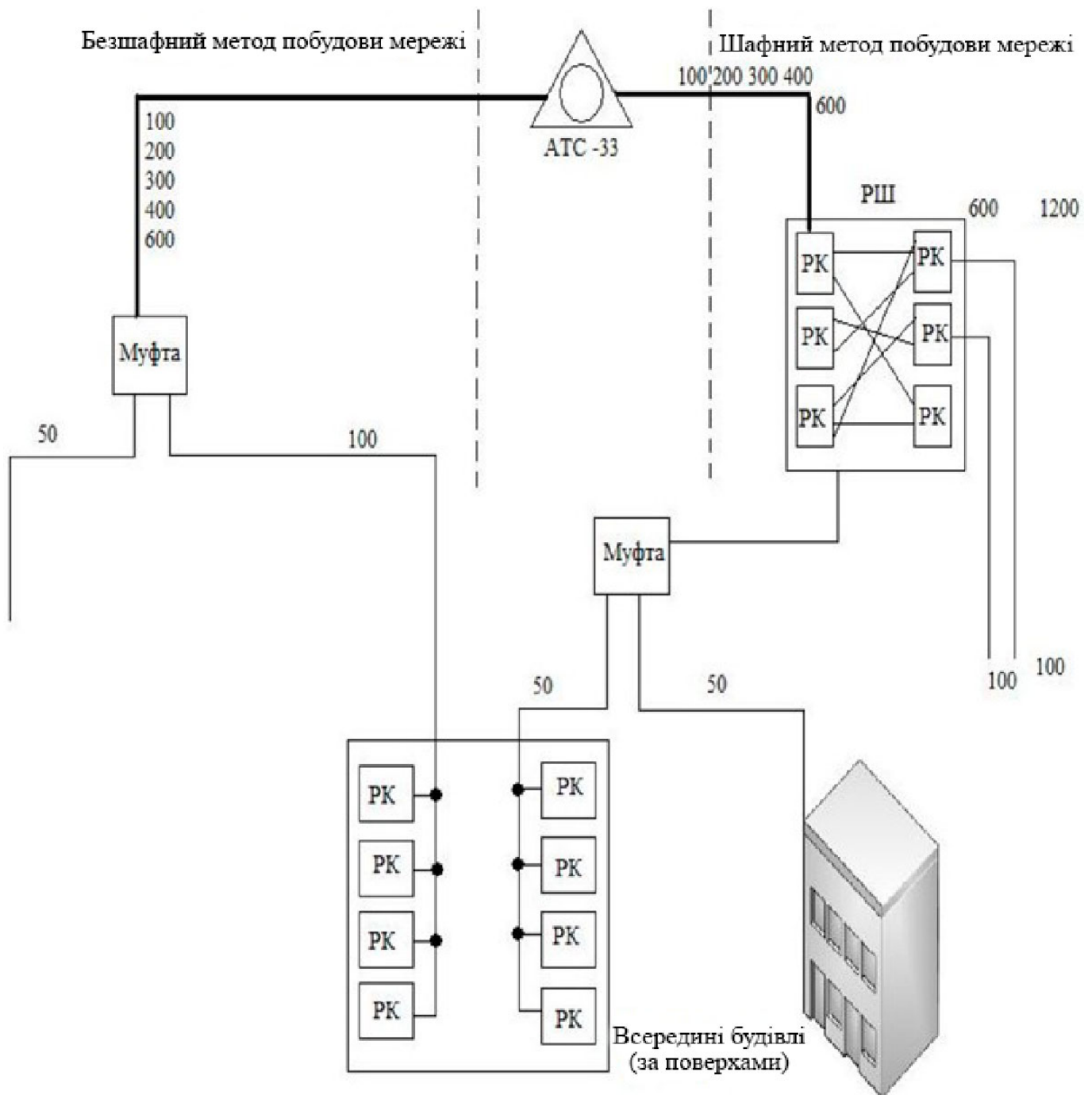


Рис. 2.2. Розподільна мережа DSL

*Шафний метод:* від АТС виходять 100-, 200-, 300-, 400-, 600- парні кабелі до розподільчих шаф, де здійснюється кросування по розподільчих коробках. Звідси виходять 100-парні кабелі до муфт. Після муфти розводяться в 50,30,20,10-парні кабелі до будівель, де розводяться по поверхах на 10-парні коробки. Цей варіант більш гнучкий і починали його застосовувати на початковому етапі телефонізації міста, коли невідомо було, скільки абонентів підключатимуться до послуги



*Безшкафний метод*: після появи необхідності у стовідсотковій телефонізації міста, доводилося застосовувати безшкафний варіант побудови для охоплення решти будівель у зоні дії АТС, прокладаючи 100-, 200-, 300-, 400-, 600- парні кабелі одразу до муфт і звідси розводячи на 50-парні кабелі до розподільчих коробок у будівлях [6].

## 2.2. Аналіз вимог технічного завдання

Для побудови цієї мережі було ухвалено рішення застосовувати топологію "зірка", що вважається більш підходящою і надійною, з використанням технології сімейства xDSL для надання мультисервісних послуг для 30% квартир із загальної кількості квартир на цій ділянці. Архітектура мережі являє собою кілька кілець (більшість із них не завершені), в інших місцях показано відгалуження на кільця зонові мережі зв'язку, тобто на кільця. Мережа xDSL прокладена каналами телефонної каналізації.

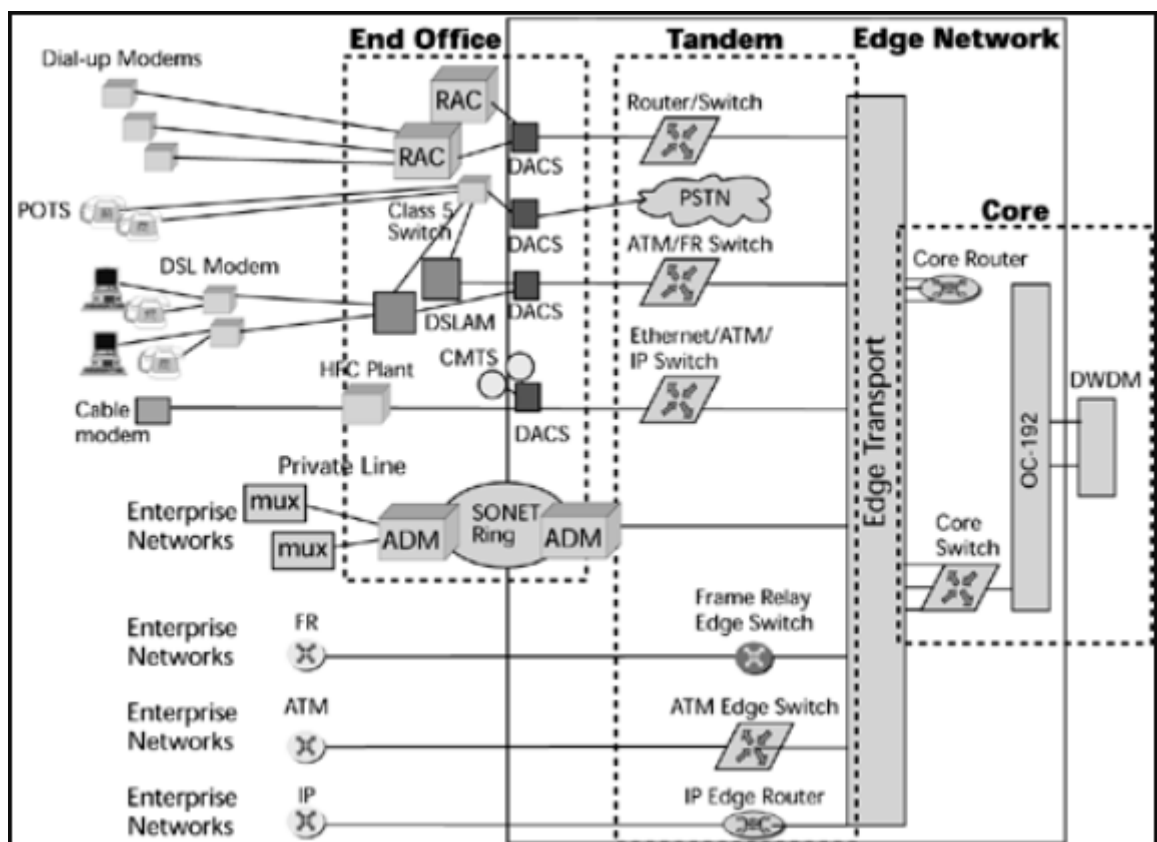


Рис. 2.3. Магістральна мультисервісна мережа

Одним із напрямів еволюції комутаційної техніки сучасних міських телефонних мереж можна вважати збільшення абонентської ємності АТС, оскільки, на базі таких станцій великої ємності можуть також створюватися транзитні вузли з високою пропускною спроможністю, що забезпечують підключення до 240000 цифрових трактів Е1. Зі зростанням абонентської ємності збільшується так звана пристанційна ділянка, що призводить до підвищення витрат на створення абонентських мереж. Використання на абонентській ділянці оптичних кабелів і встановлення виносних абонентських модулів (концентраторів абонентського навантаження) сумарною ємністю до 100% ємності АТС призводить до зниження витрат на розгортання абонентської мережі.

Впровадження сучасних технологій у телекомунікаціях веде до розбудови єдиної мережі зв'язку, яка складатиметься, найімовірніше, з трьох структурних компонентів: мережі абонентського доступу, вузлів доступу та магістральної мережі.

Мережа абонентського доступу (Access Network) - це ділянка мережі між обладнанням користувача (мережевим закінченням) і вузлом доступу, наприклад, АТС.

Як інтерфейси для підключення мережі доступу до АТС використовуються звичайні 2-провідні аналогові абонентські лінії (АЛ), фірмові або стандартизовані інтерфейси V5.1; V5.2 (сімейство вузькосмугових інтерфейсів) або VBS.x (сімейство широкосмугових інтерфейсів). Стандарти інтерфейси були розроблені для під'єднання до комутаційних станцій обладнання доступу різних виробників, що передає різні типи трафіку (мова, дані, відео).

Інтерфейс V5 являє собою один або кілька цифрових трактів 2048 кбіт/с.

Інтерфейс V5.1 дає змогу під'єднати до АТС-33 по одному цифровому тракту до 30 аналогових АЛ або В-каналів (тобто до 15 портів BRA ISDN без концентрації навантаження). Інтерфейс не підтримує доступ PRA ISDN, сигналізація здійснюється загальним каналом у тракті Е1.

Інтерфейс V5.2 може містити залежно від навантаження від 1 до 16 трактів 2048 кбіт/с. По ньому до АТС-33 підключаються до 2000 портів аналогових абонентів або до 1000 портів BRA ISDN з концентрацією навантаження до 8 разів і динамічним призначенням каналних інтервалів. Інтерфейс підтримує доступ PRA ISDN, забезпечує

резервування каналу сигналізації в разі відмови тракту шляхом перемикання на інший тракт інтерфейсу V5.2.

Мережі абонентського доступу нині розвиваються у двох напрямках:

- 1) організація широкосмугового доступу, що забезпечує широкий клас нових послуг;
- 2) зменшення частки мідних кабелів при побудові мереж доступу.

### Технології xDSL

Для надання широкосмугового доступу на АТС використовують технології сімейства xDSL, що забезпечують на ділянці доступу по крученій парі швидкість до декількох Мбіт/с:

ADSL (Asymmetrical DSL): від 384 кбіт/с до 7,1 Мбіт/с від станції до абонента (вниз) і від 128 кбіт/с до 1,5 Мбіт/с від абонента до АТС (вгору).

Вузли доступу єдиної мережі зв'язку, до яких підключаються мережі абонентського доступу, своєю чергою підключаються до магістральної мережі. Еволюція цифрових систем передавання, що становлять транспортну основу магістральних мереж, і використання оптичних кабелів призвели до того, що в магістральних мережах на зміну плезіохронним цифровим системам (ІКМ-30, -120, -480) з тимчасовим поділом каналів прийшли системи синхронної цифрової ієрархії (SDH) зі швидкостями передачі від 155,52 Мбіт/с (STM-1) до 9954,3 Мбіт/с (STM-64). Для підключення вузлів доступу до транспортної мережі SDH та інтеграції комутації мови і даних комутаційні вузли АТС обладнуються інтерфейсами SDH (STM-16) [3, 6].

Наразі для роботи цієї мережі використовують такі види обладнання:

**Маршрутизатор рівня ядра Quidway NetEngine NE80E.** Маршрутизатор рівня ядра Quidway® NetEngine 80E є новим поколінням high-end маршрутизаторів, розроблених компанією Huawei Technologies Co., Ltd. Завдяки підтримці всього спектра інтерфейсів 10G, NE80E можна використовувати в магістральних IP-мережах, на ділянках міських мереж або як базовий вузол у великих мережах із великим обсягом трафіку, для підтримки кількох послуг. Використовуючи новітні технології, як-от

трирівнева комутаційна матриця, мережевий процесор (NP) і чипсети ASIC для реалізації механізму переадресації та досконале програмне забезпечення VRRP-маршрутизації компанії Huawei, NE80E забезпечує безпрецедентні робочі характеристики, можливість масштабування та високу надійність, подвійний протокольний стек IPv4/v6, високоякісні функції QoS і широкий вибір функцій захисту. Володіючи відмінною архітектурою на апаратному і програмному рівні, NE80E відповідає вимогам щодо доступності мереж Carrier-класу і є пристроєм мультисервісного типу.

**Високопродуктивний модульний комутатор S8500.** Це високопродуктивні комутатори нового покоління. Вони широко застосовуються як обладнання опорної мережі, а також як рівень ядра або рівень збіжності в міських мережах MAN.

Пропускна здатність шини - 750 Гбіт/с.

Швидкість комутації - 300 Гбіт/с Швидкість обробки пакетів - 178М пак/с.

Кількість слотів розширення і щільність інтерфейсів - 7 слотів, з них 5 інтерфейсних. 240GE/240FE/20x10GE/200C3.

Пропускна здатність шини - 1.2 Тбіт/с Швидкість комутації - 400Гбіт/с Швидкість обробки пакетів - 285М пак/с.

Кількість слотів розширення і щільність інтерфейсів - 10 слотів, з них 8 інтерфейсних; 384GE/384FE/32x10GE/320C3.

**IP DSLAM MA5600.** IP-комутатори DSL серії MA5600, розроблені компанією Huawei Technologies, являють собою обладнання мультисервісного доступу IP 2-го і 3-го рівня. Вони використовуються як стандартні мультиплексори IP DSLAM для з'єднань між рівнем конвергенції мережі IP і абонентами, забезпечуючи доступ із підтримкою технологій Ethernet, VDSL, VDSL2, ADSL Annex A, Annex B, ADSL2+, G.SHDSL.

Основні переваги:

SmartAX MA5600 є обладнанням IP DSLAM наступного покоління на базі GE, що має можливість інтелектуального аналізу послуг, високу пропускну спроможність шини, місткість до 1.000 каналів IPTV та потужні функції маршрутизації на рівнях L2 та L3.

Висока пропускна здатність і щільність інтеграції:

- Неблокована структура комутації рівнів L2/L3, що не блокується.
- Пропускна здатність шини 210 Гбіт/с.
- Наскрізне пересилання пакетів зі швидкістю, що відповідає швидкості середовища передавання даних.

- 896 ADSL2+ / 448 G.SHDSL портів на полиці.
- 2.688 ADSL2+ портів у штативі.
- Можливості гнучкого каскадування.

Гнучкі та різноманітні мережеві інтерфейси:

Устаткування серії MA5600 підтримує великий набір інтерфейсів FE і GE: електричні інтерфейси 100Base-TX, одномодові та багатомодові оптичні інтерфейси 100Base-FX, багатомодові оптичні інтерфейси 1000Base-SX і одномодові оптичні інтерфейси 1000Base-LX, електричні інтерфейси 1000Base-TX.

**BRAS Cisco 7206VXR.** Серія маршрутизаторів Cisco 7200 розроблена як пристрій, що агрегує, для сервіс-провайдерів і ідеально підходить як центральний маршрутизатор (core) або як прикордонний маршрутизатор ISP-компаній. Цей маршрутизатор дає змогу обробляти дані, голос, відео з піковою швидкістю 1000000 пакетів на секунду. Як більшість маршрутизаторів Cisco Systems, серія Cisco 7200VXR є модульною (модулі сумісні з обладнанням серій Cisco 7100, 7400 і 7500); в основне шасі встановлюються модулі з підтримкою різних технологій (модулі портів LAN, WAN, Multichannel і ISDN портів, модулі цифрових голосових портів, SONET/ATM, Mainframe Channel Connection) [7].

**Система управління iManager N2000.** Основні можливості системи:

- Платформа підтримує різні операційні системи.
- Підтримуються інтегровані функції взаємодії з різними поширеними платформами систем управління мережею (NMS) інших виробників.
- Підтримуються протоколи різних інтерфейсів.
- Підтримується ієрархічне управління елементами мережі.
- Система управління мережею має поліпшені характеристики безпеки.
- Підтримується управління мережею на основі WEB-інтерфейсу.

Програмне забезпечення управління мережею Quidview є розробленим компанією Huawei продуктом для управління мережею, що забезпечує уніфіковане управління та технічне обслуговування обладнання передавання даних, як-от маршрутизатори та комутатори. Розташоване на рівні управління мережі, воно може виконувати як функції мережевого елемента, так і функції управління мережею.

**Сервер AAA.** Програмно-апаратний комплекс AAA є легко масштабованим сервером, сумісним з RADIUS і TACACS+. Пропонуючи закінчені рішення для Автентифікації, Авторизації та Адміністрування, сервер AAA дає змогу підприємствам захищати й керувати WLAN-ами та віддаленим доступом до мережі за допомогою двофакторної автентифікації. Ця система є єдиним рішенням автентифікації на базі одноразових паролів (OTP), яке гарантує справжню безпеку в WLAN.

### **2.3. Огляд технології HFC (Гібридна волоконно-коаксіальна мережа)**

**Мережа HFC.** Зі збільшенням тиску на фізичний рівень мережі для створення додаткової потужності ми повинні адаптуватися. Ці мережі вимагатимуть певного втручання, щоб не відставати від нових пропозицій продуктів і послуг, яких клієнти звикли очікувати, але головним чином для того, щоб не відставати від зростання Інтернет-трафіку, який продовжує стабільно зростати. Збільшення попиту на пропускну здатність Інтернету є однією з головних причин, чому ми сьогодні торкаємося зовнішніх заводських мереж. Підключення до Інтернету стало дуже конкурентним середовищем за останнє десятиліття, коли більшість операторів постійно збільшували швидкість передачі даних для клієнтів. Якби ми 20 років тому послухали тих, хто розумів, що ємність даних спонукала б доторкнутися до мережі, і якби ми використали більший підхід до розробки ємності для розміщення наших оптичних вузлів у стратегічних місцях, це дало б більше збалансовані групи послуг, які були б рівномірно розподілені за обсягом даних. Незважаючи на це, протягом останнього десятиліття оператори виконували сегментацію вузлів, розбиття або, в деяких випадках, оновлення Node+0. Як і очікувалося, результати цієї діяльності принесли користь операторам завдяки систематичному просуванню оптоволоконна глибше в їхні мережі ближче до

споживача, таким чином зменшуючи каскади підсилювачів і в кінцевому підсумку покращуючи продуктивність мережі [5, 8].

**Що таке НФС «розширеного спектру»?.** Відповідь проста. Ми дотримуємося цього шляху розширення смуги пропускання з самого початку, тому переміщення спектру до 1,8 ГГц або вище є просто наступним кроком у розвитку мережі НФС. Кабельна індустрія пішла давно встановленим шляхом до збільшення пропускної здатності, і тепер назвала це «розширеним спектром». Якщо ви озирнетесь на історію наших заводів НФС, то не так давно ми оновлювалися до 550 МГц, потім 750 МГц, потім 860 МГц, потім 1 ГГц і далі до 1,2 ГГц. Багато хто з нас, хто живе на світанку кабельного телебачення, напевно, може навіть пам'ятати всі ті поступові кроки до 550 МГц із довгими каскадами підсилювачів, які були до додавання «F» у НФС. 1,8 ГГц – це лише наступний крок у розширенні спектральної ємності на нашому шляху до можливості мережі НФС 3,0 ГГц [8].

**Навіщо розширювати спектр?.** Чому ні? Ключовою основою «розширеного спектру» є здатність використовувати поточні активи наших мереж таким чином, щоб це не суттєво змінювало те, як оператори інвестують капітал у великих масштабах. Ключовою перевагою для розширення спектру є те, що команди польових операцій мають знати, як ми керуємо мережею. Найбільшою зміною на заводі НФС стане підвищення верхньої межі носіїв вище в спектрі. Ще одна перевага «розширеного спектру» полягає в тому, що він дозволить продовжувати використовувати каскади підсилювачів, які вписуються в поточну топологію дерева та гілки наших мереж НФС. Багато деталей ще опрацьовуються, але мета полягає в тому, щоб виконати оновлення систем, які були належним чином спроектовані та створені до справжніх 750 МГц або вище. Правильно спроектована та побудована система сильно залежить від точності карт, з яких ви почали, дизайнера, який виконує роботу, лінійного обладнання, що використовується, і відстаней у прольотах коаксіального кабелю. Усі ці потенційні проблеми, а також змінні, які ввійшли в останнє оновлення системи, можуть вплинути на наступний крок. Зважаючи на це, оператори тепер матимуть у своєму наборі інструментів ще один інструмент, який забезпечить збільшення пропускної здатності, а також збільшить швидкість розгортання. Як додаткову перевагу «розширений

спектр» дозволить кабельним операторам відкласти капітальні інвестиції на набагато довший період часу, використовуючи підхід «звичайний бізнес» (BAU), водночас прагматично запроваджуючи оптоволокну глибше у свої мережі, наближаючись до Node+ 0 мережі [8-9].

**Як вписується архітектура розподіленого доступу?.** Наразі це вважається необхідною умовою переходу до FDX або ESD. Архітектура розподіленого доступу (DAA) стане важелем, який дозволить операторам просувати носії, які зазвичай генеруються всередині критичних об'єктів оператора, на завод і ближче до клієнта. Ці несучі тепер генеруються в невеликому модулі всередині вузла, допомагаючи виробляти кращу продуктивність і точність радіочастотного сигналу. Ще однією додатковою перевагою DAA є перехід від аналогового оптичного транспорту, який має обмеження довжини хвилі та продуктивності на великих відстанях. Це дасть кабельним операторам можливість підвищити ефективність і використання існуючої оптоволоконної мережі. Щоб забезпечити різноманітні опції в сумці інструментів, існує низка варіантів, які оператори повинні враховувати, коли хочуть розгорнути DAA. Поточні параметри R-PHY і R-MACPHY. У той час як обидві технології переміщують граничний модулятор QAM і технологію електроніки приймача вгору на вузол, одна переміщує можливість DOCSIS MAC і PHY на вузол, а інша просто переміщує можливість PHY на вузол [9].

**Можлива конвергенція.** Хоча нинішня ціль полягає в тому, щоб забезпечити швидкість 10 Гбіт/с через коаксіальний кабель, ми шукаємо шлях до 25 Гбіт/с, використовуючи спектр до 3,0 ГГц. Ця дорожня карта може вимагати конвергенції FDX і ESD для досягнення цих цілей. Озирнувшись назад на індустрію кабельних телекомунікацій, стає зрозуміло, що нові технології та інновації стали запорукою успіху.

**Структура мережі.** Більшість мереж побудовані як 4-рівнева ієрархія [9]:

- Кістяк.
- Регіональний сегмент.
- Метро.
- Доступ.



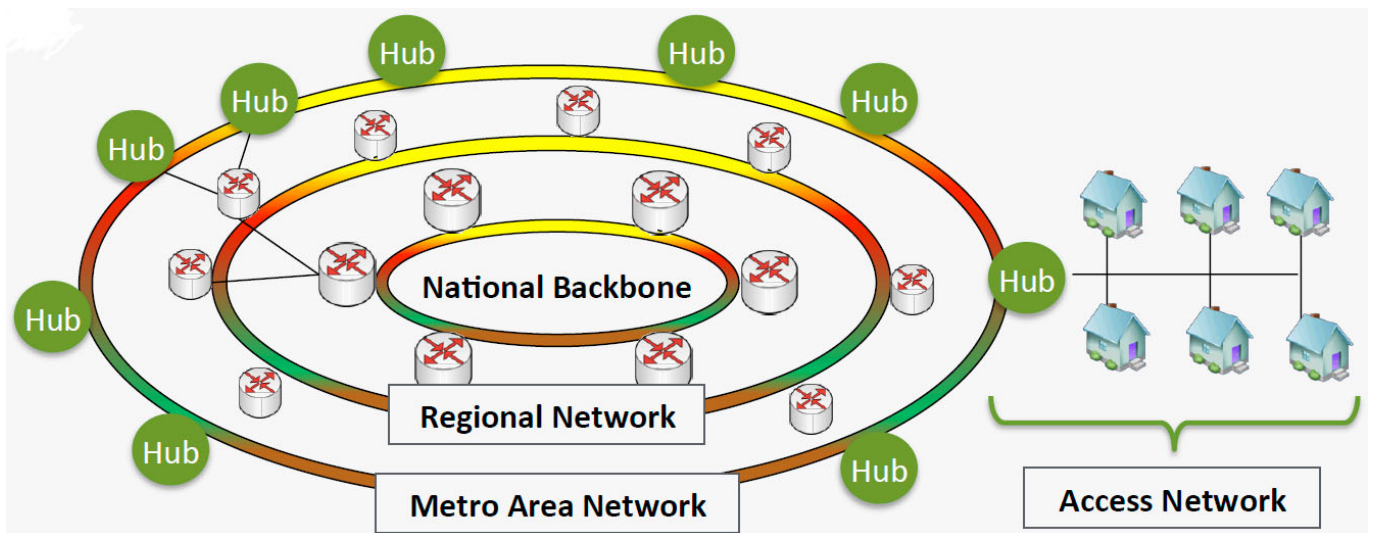


Рис. 2.4. Структура мережі HFC

**Мережа доступу.** Найбільший компонент мережі [9-10]:

- Фізичний/географічний розмір.
- Грошові інвестиції.

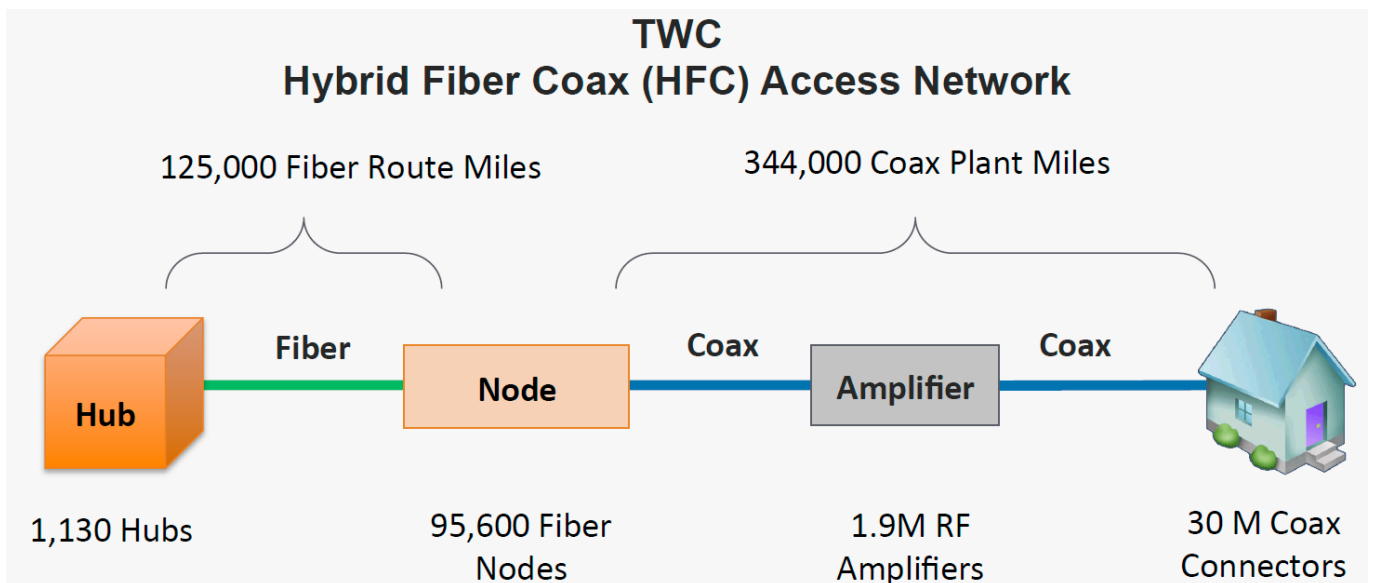


Рис. 2.5. Мережа доступу HFC

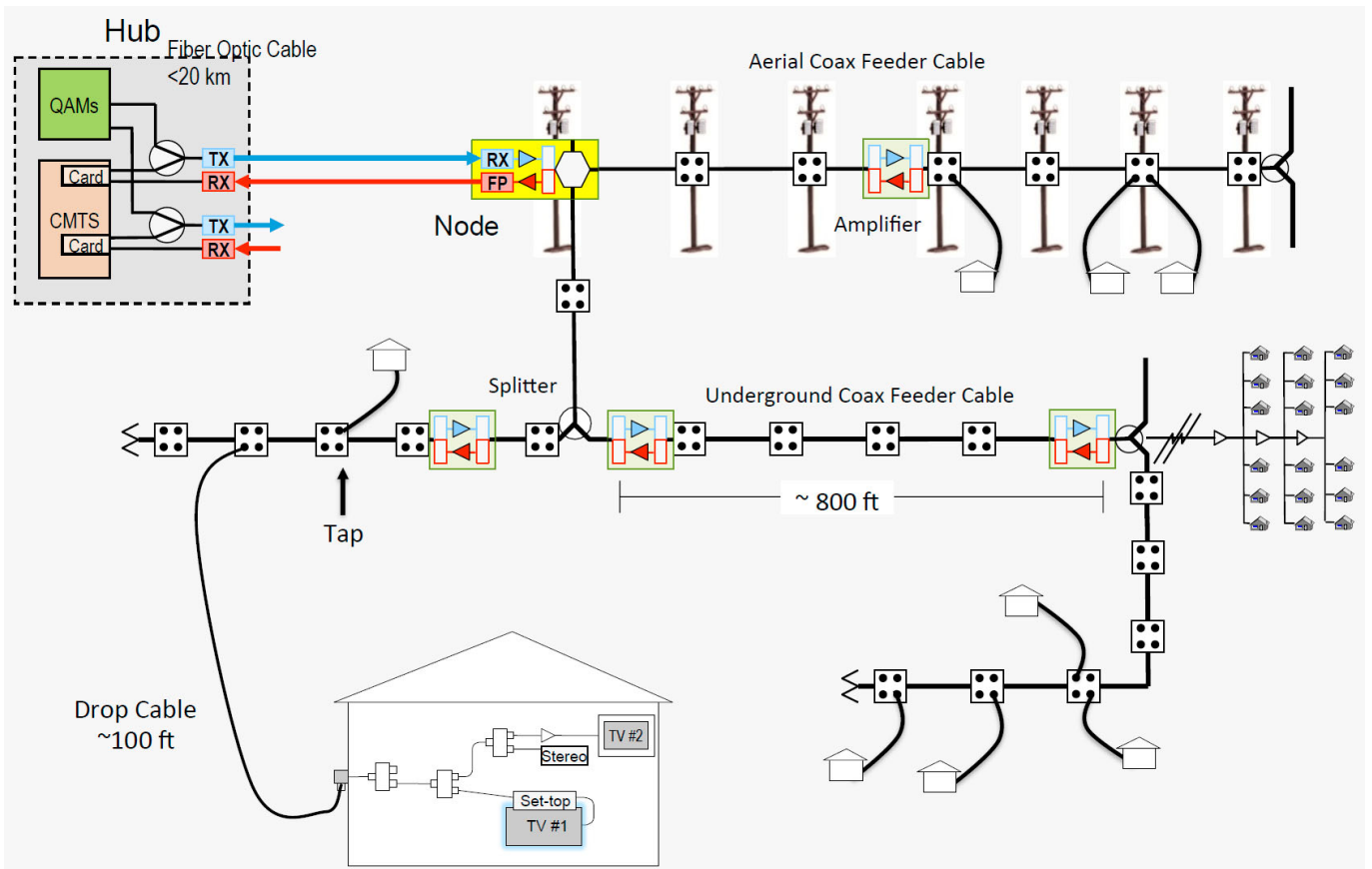


Рис. 2.6. Компоненти та топологія мережі HFC

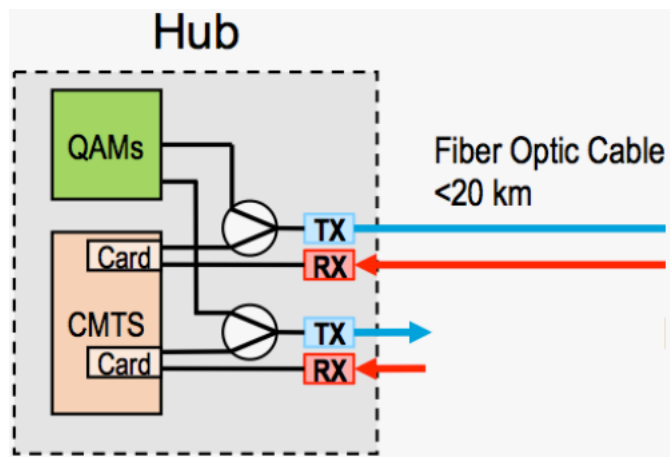


Рис. 2.7. Хаб мережі HFC

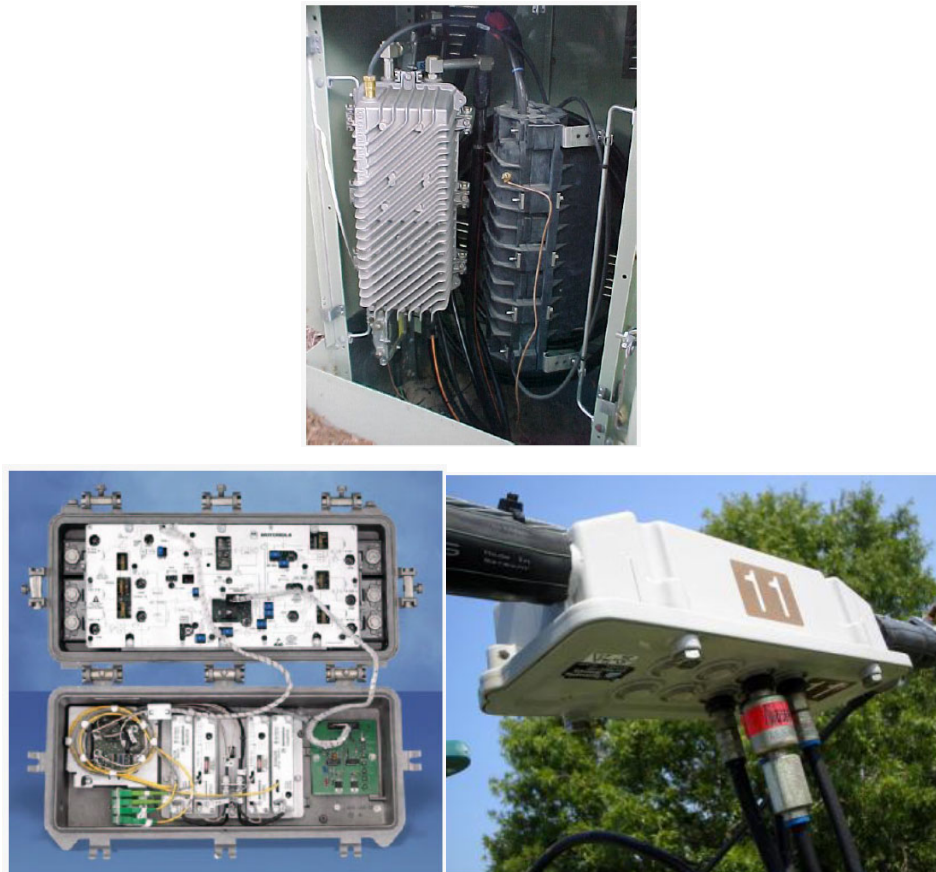


Рис. 2.8. Вузол доступу мережі HFC

**Функції в хабі [10]:**

- Отримання відеосигналів від контент-мереж/програвачів.
- IP-з'єднання з міськими/регіональними мережами.
- Модуляція наступних сигналів як QAM (цифровий) або VSB+DSB+SSB+FM (аналоговий).
- Попереднє узгодження сигналів для боротьби з перешкодами в операторській та радіочастотній мережі.
- Декодування висхідних сигналів QAM/QPSK.
- Перетворення радіочастотних сигналів в/з модульованих за інтенсивністю операційних сигналів для передачі на великі відстані.

**Функції вузла доступу та підсилювача. Вузол HFC [10]:**

- Виконує оригінальне перетворення радіосигналів до/від хаба.
- Можуть бути розташовані за 50 км або більше від хаба.

### Магістральний/розподільчий підсилювач:

- Виконує підсилення радіочастотного сигналу, що погіршується під час передачі по коаксіальному кабелю.
- Може бути каскадним з 5-ма вузлами за вузлом (архітектура вузол+N).

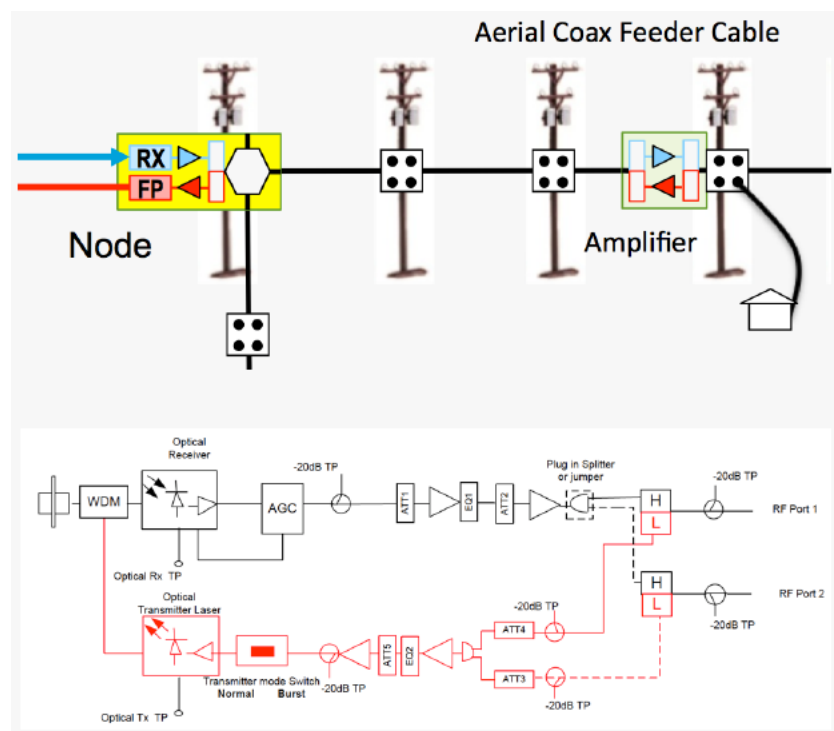


Рис. 2.9. Магістральний/розподільчий підсилювач

### Живлення від ГФУ [10]:

- Вузол NFC і підсилювачі є електронними пристроями, які потребують електричного живлення.
  - Блоки живлення, розміщені через рівні проміжки вздовж коаксіальної мережі, забезпечують живлення вузла та підсилювачів.
  - Пристрої Power Insertion використовуються для підключення живлення змінного та/або постійного струму до тих самих провідників, що несуть радіочастотний сигнал.

Коаксіальна мережа також є мережею розподілу електроенергії

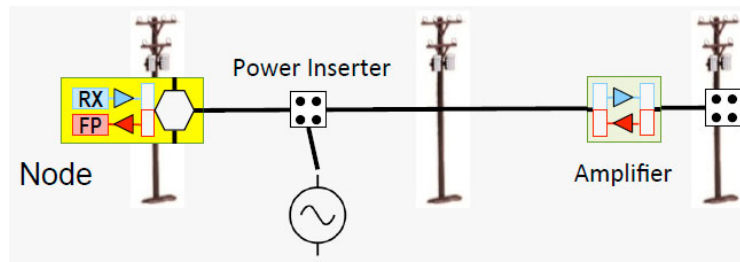


Рис. 2.10. Живлення від ГФУ мережі HFC



Рис. 2.11. Акумуляторний блок для живлення мережі HFC

**Можливості типової мережі HFC [10]:**

- Нижній потік 54--750 МГц.
- 116 x 6 МГц Канали = 4,3 Гбіт/с при 256 SC--QAM (з однією несучою) ~ 6 біт/Гц.
- Висхідний потік 5--42 МГц ~ 4 x 6 МГц Використовувані канали = пропускна здатність 100 Мбіт/с при 64 SC—QAM ~ 2 біт/Гц.

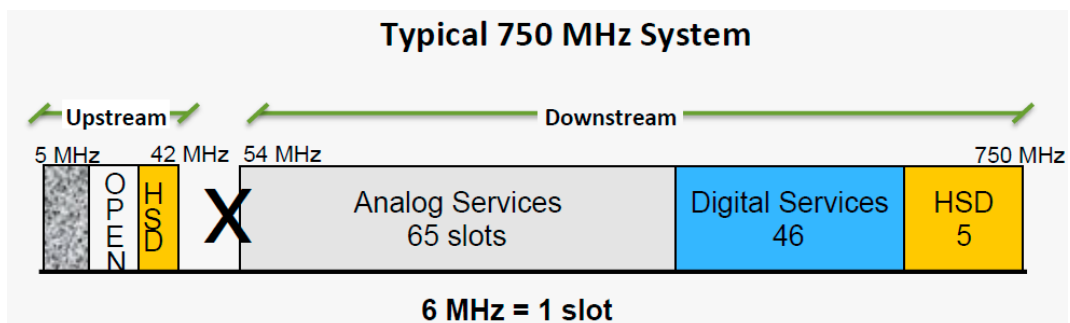


Рис. 2.12. Можливості типової мережі HFC

## РОЗДІЛ 3

# ПРОЄКТУВАННЯ МЕРЕЖІ АБОНЕНТСЬКОГО ДОСТУПУ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЇ НРС ДЛЯ НАДАННЯ МУЛЬТИСЕРВІСНИХ ПОСЛУГ

### 3.1. Вибір варіанту реконструкції мережі, складання схеми організації зв'язку

Наше завдання спроектувати мережу абонентського доступу з наданням мультисервісних послуг у зоні дії АТС. Після аналізу двох запропонованих варіантів проєктування мережі абонентського доступу для АТС було помічено, що будівництво мережі FTTH досить трудомісткий і дорогий процес. Основні витрати при розгортанні мережі FTTH припадають на будівельні роботи, а вартість самого оптоволоконного кабелю становить відносно невелику частину. Однак, у цьому проєкті, використовується наявна каналізація для прокладання оптоволоконного кабелю. Основні витрати - монтаж і тестування оптоволоконна - безпосередньо залежать від його кількості.

Якщо життєвий цикл самої мережі FTTH та її електронних компонентів становить кілька років, то оптоволоконний кабель і оптична розподільча мережа мають триваліший термін служби, за деякими оцінками — до трьох десятків років. Отже, така довговічність і чималі витрати на побудову передбачають високі вимоги до правильного проєктування оптоволоконних ліній. Адже після того як прокладання кабелю завершено, внесення змін потребуватиме чималих витрат.

Наразі архітектури розгорнутих мереж FTTH можна розділити на три основні категорії. "Кільце" Ethernet-комутаторів, "зірка" Ethernet-комутаторів і "дерево" з використанням технологій пасивної оптичної мережі PON.

FTTH включає в себе активну (P2P-Ethernet) і пасивну (PON) технології, сутність роботи яких представлено на малюнку 3.1. Пасивна оптична мережа PON стає головною технологією в FTTH [11].

PON складається з OLT (Optical Line Terminal), ONU (Optical Network Unit) і ODN (Optical Distribution Network), POS (Passive Optical Splitter) - головний компонент ODN;

Дана технологія пропонує рішення одвічної проблеми "останньої милі" - як довести ширококутну технологію центральної та периферійної частини мережі до самого будинку або підприємства кінцевого користувача. Індивідуальні користувачі зазвичай отримують доступ до мережі комутованими каналами. Використаний же на багатьох підприємствах виділений доступ, незважаючи на наявні внутрішні локальні мережі Ethernet на 10 або 100 Мбіт/с, як правило, теж обмежується в кращому разі швидкостями ліній T-1/E-1. У зв'язку з цим застосування оптичного кабелю виглядає цілком логічним, оскільки лініям DSL властиве обмеження за дальністю, крім того, їхня експлуатація на високих швидкостях зможе принести провайдерам достатній прибуток.

PON являє собою схему мережевої інфраструктури доступу, розроблену коаліцією FSAN (Full Service Access Network). FSAN займається стандартами для постачальників і операторів, об'єднаних спільною метою пошуку найдешевшого і найефективнішого способу побудови великих мультисервісних ширококутних мереж доступу.

- PON - різновид мережі Точка - Багато Точок (Point to Multi-point network P2MP).
- PON - Passive Optical Network (Пасивна Оптична Мережа)

PON складається з OLT (Optical Line Terminal), ONU (Optical Network Unit) і ODN (Optical Distribution Network), POS (Passive Optical Splitter) - головний компонент ODN;

Дана технологія пропонує рішення одвічної проблеми "останньої милі" - як довести ширококутну технологію центральної та периферійної частини мережі до самого будинку або підприємства кінцевого користувача. Індивідуальні користувачі зазвичай отримують доступ до мережі комутованими каналами. Використаний же на багатьох підприємствах виділений доступ, незважаючи на наявні внутрішні локальні мережі Ethernet на 10 або 100 Мбіт/с, як правило, теж обмежується в кращому

разі швидкостями ліній T-1/E-1. У зв'язку з цим застосування оптичного кабелю виглядає цілком логічним, оскільки лініям DSL властиве обмеження за дальністю, крім того, їхня експлуатація на високих швидкостях зможе принести провайдерам достатній прибуток [11].

В принципі, різниця між активною оптичною мережею P2P-Ethernet та пасивною оптичною мережею PON полягає в тому, що P2P-Ethernet використовує велику кількість оптичних кабелів для здійснення передачі інформації по всіх будинках за допомогою Ethernet-комутаторів. Водночас, PON, використовуючи одну оптичну лінію з центрального вузла, розподіляє інформацію по домівках за допомогою оптичних спліттерів, що є більш перспективним з точки зору розгортання мережі та зменшує витрати на будівництво.

До появи мережевої архітектури на базі Ethernet-комутації призвела необхідність швидкого виходу оператора на ринок і зниження вартості послуг. До недоліків же можна віднести поділ смуги пропускання всередині кожного кільця доступу, що в перспективі дасть порівняно невелику пропускну спроможність, а також викличе труднощі масштабування архітектури. Широкого поширення набула архітектура Ethernet типу "зірка". Вона передбачає наявність виділених оптоволоконних ліній від кожного кінцевого пристрою до точки присутності, де відбувається їхнє підключення до комутатора. Кінцеві пристрої можуть знаходитися в окремих житлових будинках, квартирах або багатоквартирних будинках, на цокольних поверхах яких розташовуються комутатори, від яких розводяться лінії по всіх квартирах.

У разі використання архітектури на базі пасивної оптичної мережі PON для розгортання мереж FTTH оптоволоконна лінія розподіляється по абонентах за допомогою пасивних оптичних розгалужувачів із коефіцієнтом розгалуження до 1:64 або навіть 1:128. Архітектура FTTH на базі PON підтримує протокол Ethernet. У деяких випадках використовується додаткова довжина хвилі низхідного потоку, що дає змогу надавати традиційні аналогові та цифрові телевізійні послуги користувачам без застосування телевізійних приставок із підтримкою IP [11].

Суть організації доступу на основі технології PON у такому: провайдер прокладає один оптичний кабель від свого телефонного вузла (Central Office, CO) або точки



присутності (Point of Presence, POP) до групи кінцевих користувачів. Потік даних прямує до розгалужувача, звідки трафік кожного клієнта спрямовується в канал, що йде від точки розгалуження, розташованої, зазвичай, у стійці або шафі, до приміщення клієнта. Така організація значно скорочує сумарну довжину необхідного оптичного волокна. (На кожній лінії PON може бути встановлено кілька розгалужувачів.) Більшу частину шляху від телефонного вузла провайдера до користувача трафік проходить основним оптичним кабелем, а відрізок, що залишився, - коротким волокном або лінією DSL [12-14].

Технологія PON є пасивною тільки в тому сенсі, що зовнішня кабельна система є пасивною, система не містить спеціальних електронних пристроїв, які потребують електроживлення або обслуговування, і не передбачає застосування випрямлячів, батарей, зовнішніх мультиплексорів, монтажних шаф, а також не спричиняє проблем із "правом проходу". Натомість уся "активність" зосереджена на телефонному вузлі і в приміщенні клієнта. У разі використання технології PON у цьому проєкті, за допомогою одного волокна можна під'єднати до 32 таких шлюзів, де мультиплексор доступу DSL (DSL Access Multiplexer, DSLAM) прийматиме трафік і потім пересилатиме його кінцевим користувачам за допомогою DSL.

Що стосується специфікацій, то розгалужувачі можуть розміщуватися для створення "зіркоподібної", "кільцевої" або "деревоподібної" топології. Термін "дерево" часто використовується для опису структури PON з основним оптичним кабелем від телефонного вузла, який розділяється на безліч ліній у розгалужувачі.

Устаткування PON на з'єднувальному або головному вузлі - оптичний лінійний термінал (Optical Line Terminal, OLT) - розсилає численні призначені для користувача потоки за допомогою лазера, потужність якого достатня для компенсації як оптичної дисперсії вздовж множинних шляхів, так і загасання сигналу в кожній точці з'єднання. Оптичний лінійний термінал повинен або створювати світлові сигнали самостійно, або перенаправляти трафік SDH від сусіднього кросу в з'єднувальний канал PON. Він також мультиплексує безліч потоків від клієнтів. У приміщеннях клієнтів оптичні ме-

режеві блоки (Optical Network Units, ONUs) перетворюють світлові сигнали відповідно до вимог транспортних засобів, які використовуються, і направляють трафік на клієнтські комутатори та УАТС [12, 15].

Специфікацією FSAN передбачено сполучну лінію довжиною до 18 км і максимум 32 розгалуження, тобто 64 кінцеві точки на дерево. Пропускна здатність може становити або 155 Мбіт/с в обох напрямках, або 622 Мбіт/с у напрямку до користувачів на основі технології TDM і 155 Мбіт/с у напрямку до головного вузла на основі TDMA (Time Division Multiple Access). Підтримуються також постійні (Permanent Virtual Circuit, PVC) і комутовані (Switched Virtual Circuit, SVC) віртуальні з'єднання. Специфікації FSAN обіцяють і більш високі швидкості, проте зараз 622 Мбіт/с - гранична швидкість, при цьому деякі виробники пропонують неповні інтерфейси T-1/E-1 і T-3/E-3.

Передача даних здійснюється по-різному, але в більшості випадків використовується Ethernet на 10/100 Мбіт/с. Мережі PON надаватимуть широкий вибір транспортних послуг, включно з Ethernet на 10/100 Мбіт/с у комплекті з VLAN, T-1/E-1, T-3/E-3, OC-3, гігабітний Ethernet та інші високошвидкісні сервіси. Деякі виробники передбачають можливість нарощування пропускної здатності з кроком 1 Мбіт/с, що величезно привабливо для операторів зв'язку (поки вони здатні виставляти за це рахунки), як і підтримка технологією PON передавання мови. Крім того, мережі PON стануть непоганою заміною дорогих виділених каналів.

Технологія PON буде використовуватися для перенаправлення трафіку DSL на шлюз або телефонний вузол. Зрештою застосування безлічі каналів T-1/E-1 напевно чи є економічно виправданим для об'єднання настільки об'ємного трафіку абонентських закінчень. Технологія PON може бути використана для передачі вхідних і вихідних потоків місцевих шлюзів і пристроїв DLC, оскільки саме їм відводиться здійснення підтримки оптичних з'єднань у планах розгортання мереж наступного покоління [11-14].

Важливо також зазначити, що надмірність може легко досягатися використанням парних оптичних волокон, дозволяючи уникнути застосування кільцевої схеми

забезпечення надмірності SDH. І оскільки компоненти PON не є активними, вони не можуть втратити живлення.

Мережі PON наближають оптичні виноси впритул до споживачів, багато з яких не мають прямого доступу до оптики, але перебувають на відстані не більше ніж 1,5 км від будь-якої оптичної лінії. Технологія PON дає можливість використовувати для з'єднання мережі клієнта з магістраллю PON короткі канали (волоконно-оптичні або DSL). Розподіл ресурсів при застосуванні PON також спрощується. Порівняно з мережею SDH, де потрібна ручна координація та конфігурація мережевого обладнання "кільця" і клієнтів, PON надає можливість більш простої організації декількох оптичних виносів від центрального вузла. Іншою перевагою перед SDH з її жорсткими кроками збільшення пропускної спроможності є те, що пропускна спроможність PON може надаватися порціями меншого розміру без зайвих складнощів конфігурування, а це робить непотрібними виділені канали [10].

Мережі PON значно змінюють баланс сил, пропонуючи більш прагматичну модель. Прокладаючи оптичне волокно від телефонного вузла до району з групою потужних клієнтів - підприємств або індивідуальних користувачів, - оператор може бути більшою мірою впевнений у компенсації фінансових витрат на прокладання оптичних ліній. Якщо розглянути випадок АТС, яка обслуговує міський квартал з деякими підприємствами, але невідомо, які підприємства зацікавлені його послугами. Зважаючи на відсутність необхідності встановлення оптичного вносу від телефонного вузла і подальшого розміщення розгалужувачів на території кожного клієнта, початкові витрати цього оператора різко знижуються. Якщо несподівано з'являться нові замовники, прокладення додаткових оптичних з'єднувальних ліній не знадобиться, досить просто прокласти коротку лінію до сполучної лінії PON і встановити розгалужувач (якщо, звісно, в цієї лінії PON ще є можливості розширення: слід мати на увазі, що до однієї оптичної пари можна підключити не більше 32 клієнтів).

**Принципи GPON - мультиплексування даних.** Архітектуру мережі доступу GPON (Gigabit PON) можна розглядати як органічне продовження технології APON.

При цьому реалізується збільшення як смуги пропускання мережі PON, так і ефективності передавання різноманітних мультисервісних додатків. Стандарт GPON ITU-T Rec. G.984.3 GPON було ухвалено в жовтні 2003 року.

GPON надає масштабовану структуру кадрів за швидкостей передавання від 622 Мбіт/с до 2,5 Гбіт/с, і допускає системи як з однаковою швидкістю передавання прямого і зворотного потоку в дереві PON, так і з різною. GPON базується на стандарті ITU-T G.704.1 GFP (generic framing protocol, загальний протокол кадрів), забезпечуючи інкапсуляцію в синхронний транспортний протокол будь-якого типу сервісу, зокрема TDM [10, 12, 15].

GPON використовує Wavelength Division Multiplexing (WDM) технологію, для забезпечення 2-х спрямованої роботи в 1-му оптичному кабелі, як показано на рис 3.1.

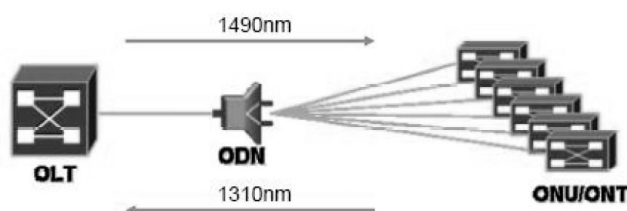


Рис. 3.1. Мультиплексування даних у GPON

Для розділення upstream/downstream сигналів для багатьох користувачів через одне волокно, GPON застосовує 2 механізми (див. рис. 3.2):

- У напрямку downstream пакети даних передаються в режимі broadcast;
- В напрямку upstream пакети даних передаються в режимі, подібному до TDMA.

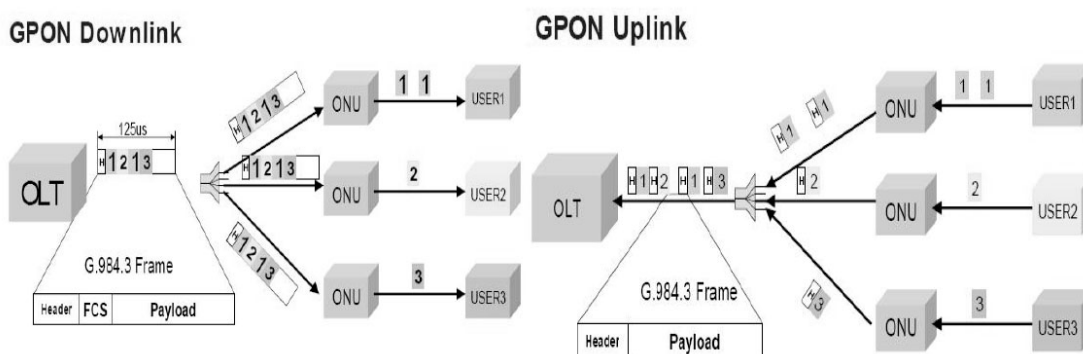


Рис. 3.2. Режими передавання сигналів у GPON

Головне у використанні технології GPON - поєднання роботи з мережею Ethernet і так само забезпечення Ethernet послуг, як зображено на рис. 3.3.

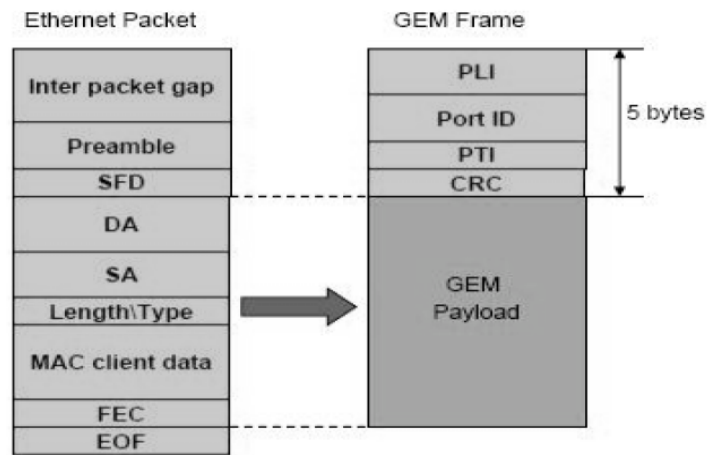


Рис. 3.3. Забезпечення Ethernet послуг

- GPON система приймає Ethernet фрейми і мапує дані фреймів у GEM Payload.

- GEM фрейми автоматично інкапсулюють заголовки інформації.

Забезпечення QoS у GPON зумовлене тим, що:

- Класифікація трафіку заснована на LAN/802.1p.
- Використання алгоритмів strict priority (SP) і Weighted Round Robin (WRR).
- Передача послуг ґрунтується на мапуванні послуг із різними T-Cont.

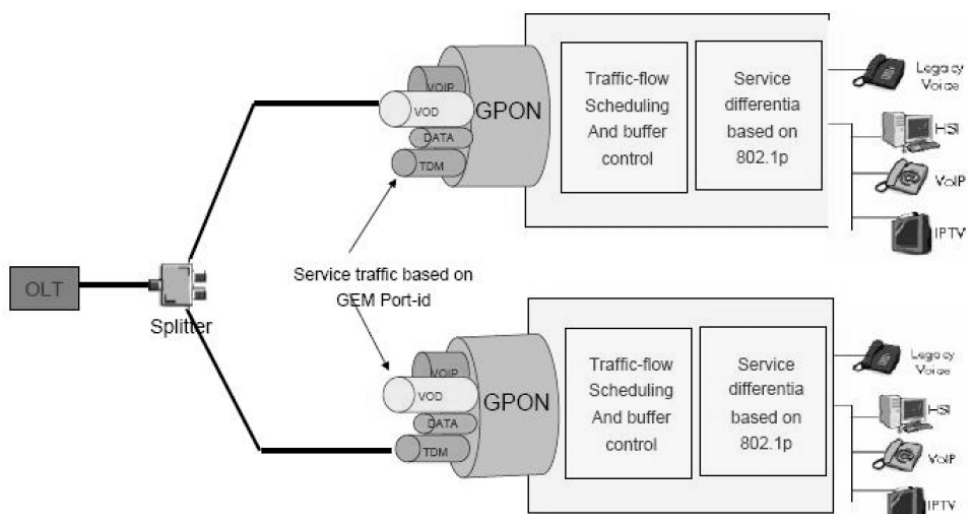


Рис. 3.4. Класифікація трафіку заснована на LAN/802.1p

### 3.2. Рішення HFC Evolution на основі GPON та EPON

З огляду на те, що оптоволоконна технологія добре адаптована до мережі доступу до кінцевих користувачів, оператори кабельної мережі повністю усвідомлюють зростаючу загрозу та мають вирішальне значення для пошуку еволюційного рішення з передовими технологіями мереж доступу для кабельної мережі доступу наступного покоління.

Традиційна кабельна мережа має обмежену пропускну здатність коаксіального кабелю. Порівняйте з коаксіальним кабелем, одномодовий волоконно-оптичний кабель у стандартних діапазонах зв'язку 1310 і 1550 нм має теоретичну фізичну потужність понад 10 000 ГГц, і потужність може бути повністю симетрично розподілена між вихідним і низхідним потоком. Волоконна оптика не піддається впливу зовнішнього сигналу, може передавати сигнали на великі відстані та не потребує підсилювачів для посилення сигналу в широкосмуговій мережі великого міста.

Рисунок 3.5 показує типову структуру HFC. Різні джерела відео вибираються в головній частині. Після обробки сигнали розподіляються через високошвидкісну SONET / SDH на допоміжну головну станцію або концентратори, які розподіляються на оптоволоконний вузол. Оптоволоконні вузли виконують оптико-електричне перетворення та починають розподіл радіочастот через коаксіальний кабель. Оптоволоконні фідерні мережі від концентраторів зазвичай мають зіркову топологію до локалізованих вузлів. Окрім розташування вузла, для доставки послуг до дому використовується коаксіальна топологія дерева та гілок. Підрозділи або центри можуть обслуговувати велику кількість ділових або житлових громад [15].

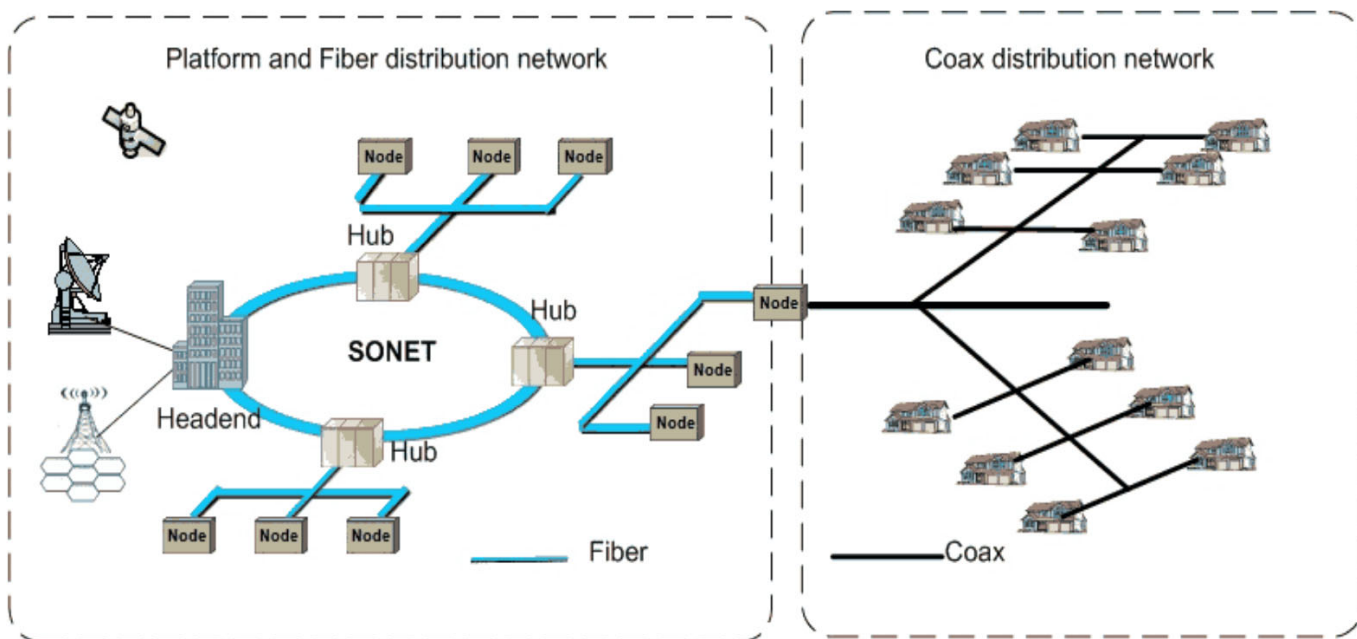


Рис. 3.5. Рішення HFC Evolution на основі GPON

Серед сучасних комунікаційних технологій технологія пасивної оптичної мережі Gigabit Ethernet (GPON) є більш конкурентоспроможним вибором для MSO для переходу на дешевшу повністю цифрову мультисервісну мережу порівняно з підходами на основі DOCSIS. Архітектура GPON складається з серії безживних пасивних оптичних розгалужувачів, які використовуються для забезпечення доступу до кількох приміщень лише через волоконно-оптичний кабель, на відміну від гібридної волоконно-коаксіальної мережі. У концентраторі/підголовній станції Ethernet і РЧ поєднуються через термінал оптичної лінії (OLT), який перетворює Ethernet і RF на одне оптичне волокно, яке може обслуговувати до 64 ONU. Голос, дані та IP-відео можуть передаватися від OLT до абонента на 1490 нм. Дані та IP-відео передаються від ONT абонента до OLT на 1310 нм. У деяких випадках до EPON додається трансляційне відео накладання, що передається на 1550 нм, за допомогою тієї самої радіочастотної технології, що використовується в мережах кабельного телебачення. Цей радіочастотний сигнал 1550 нм може передавати аналогові канали, цифрові канали або обидва.

Залежно від кабелю в житлових приміщеннях, рішення GPON може відрізнятися від EPON+LAN, EPON+EOS. Це може зменшити початкові інвестиції та збільшити швидкість роботи та можливості, щоб запропонувати передові послуги через існуючу коаксіальну мережу CATV [15].

**EPON+LAN.** Пристрої ONU розгортаються на оптичних вузлах, а доступ до локальної мережі додається для підтримки інтерактивного порядку та послуг широкопasmового доступу, таких як Інтернет, VoIP тощо. Оператор кабельного телебачення все ще надаватиме традиційні DOCSIS та послуги цифрового телебачення через існуючу кабельну систему. Інтерактивні послуги, такі як відео на вимогу (VOD), можна підключити до кабельної мережі через систему GEPON.

У цьому рішенні немає вимог модифікації або заміни існуючої кабельної системи. Він використовує подвійний кабель (коаксіальний кабель і кабель Ethernet) для домашніх користувачів, щоб запропонувати широкопasmовий доступ для традиційних користувачів CATV. Справжня IP-мережа Triple-Play досягається за найменших експлуатаційних витрат [16].

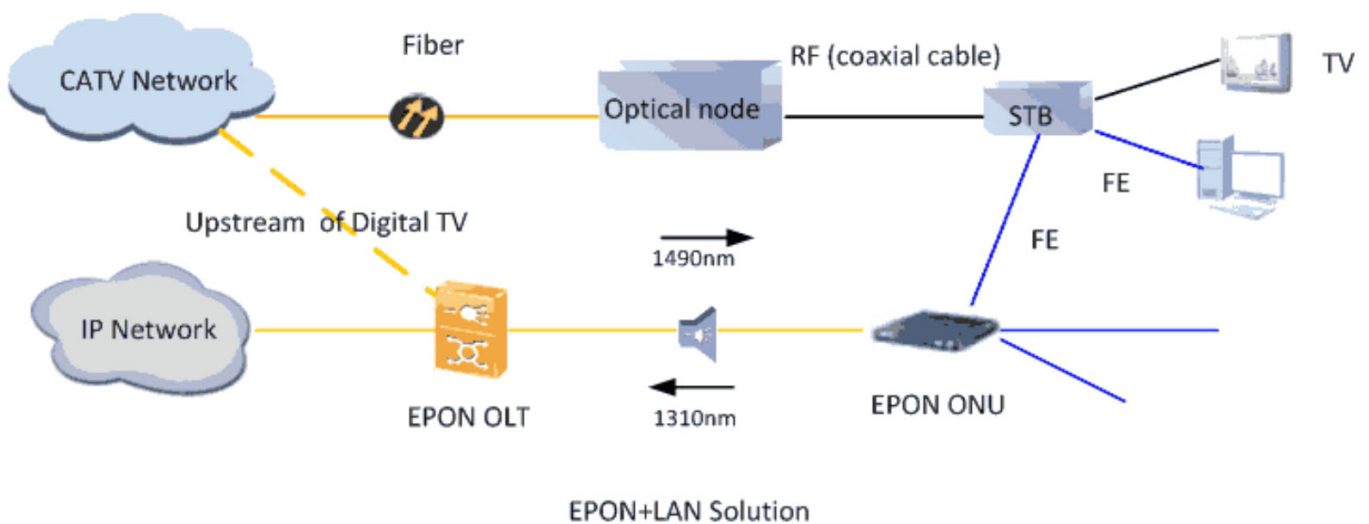


Рис. 3.6. EPON+LAN

**EPON+ DOCSIS EOC.** Послуги трансляції, такі як аналогове та цифрове телебачення, будуть передаватися на оптичний приймач через систему catv. Дані та голосові послуги будуть передаватися до ONU через систему EPON. Оптичний приймач підключається до головного пристрою DOCSIS EOC за допомогою радіочастотного інтерфейсу, а ONU підключається до головного пристрою DOCSIS EOC за допомогою інтерфейсу Ethernet [16].



Архітектура DOCSIS EoC (Ethernet через коаксіальний) використовує технологію рівня DOCSIS MAC/PHY та мережеві елементи EPON для впровадження економічного рішення для використання DOCSIS CPE у китайських MDU. На об'єкті MDU головний EOC забезпечує функцію мосту від EPON до домену DOCSIS для передачі радіочастот (RF) через коаксіальні стояки в будівлі. Протокол DOCSIS завершується на місці абонента за допомогою стандартних сертифікованих кабельних модемів DOCSIS (CM), вбудованих мультимедійних термінальних адаптерів (EMTA) або приставок (STB) із вбудованими модемами DOCSIS, які використовують набір DOCSIS-TOP Протокол шлюзу (DSG).

Цей підхід буде використовувати існуючий термінал оптичної лінії EPON (OLT) обладнання для забезпечення двосторонніх послуг через кабель за цінами, що є конкурентоспроможними з власними рішеннями EoC, забезпечуючи при цьому швидкість до 400 Мбіт/с.

Це рішення дозволяє повністю використовувати існуючу кабельну мережу і не потребує заміни електропроводки в житловому будинку. Ці переваги включають взаємодію з різними постачальниками, стандартизовану та перевірену якість обслуговування для голосових послуг, найнижчу вартість і широкую доступність систем кабельного модему та приставки.

Основні елементи мережі показано в DOCSIS EoC для мережевої архітектури EPON [15-16].

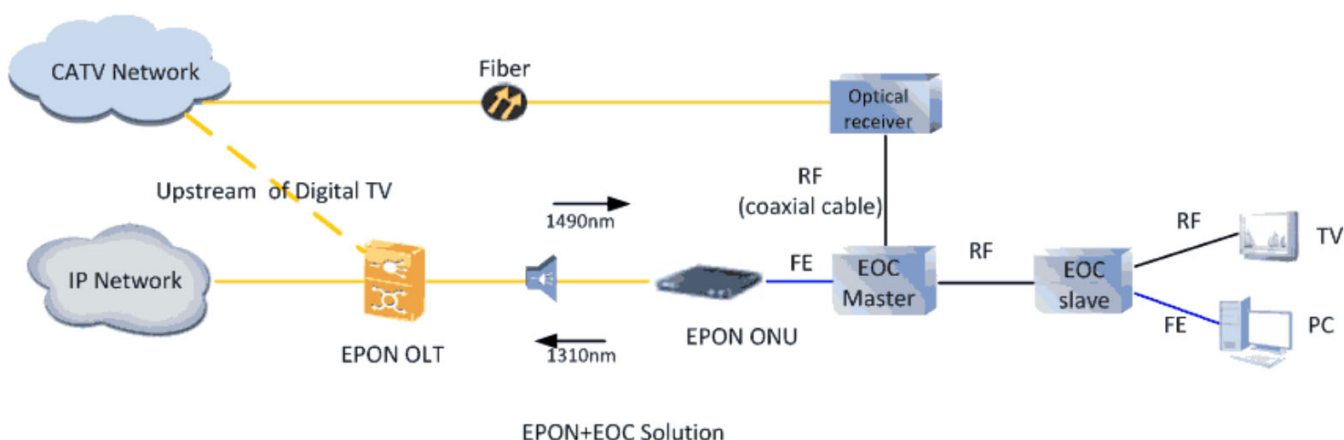


Рис. 3.7. EPON+ DOCSIS EOC

**Переваги рішення.** Мережа двонаправленого доступу на основі технології EPON створила нову комбінацію мережі інтерактивного цифрового телебачення та широкосмугової мережі.

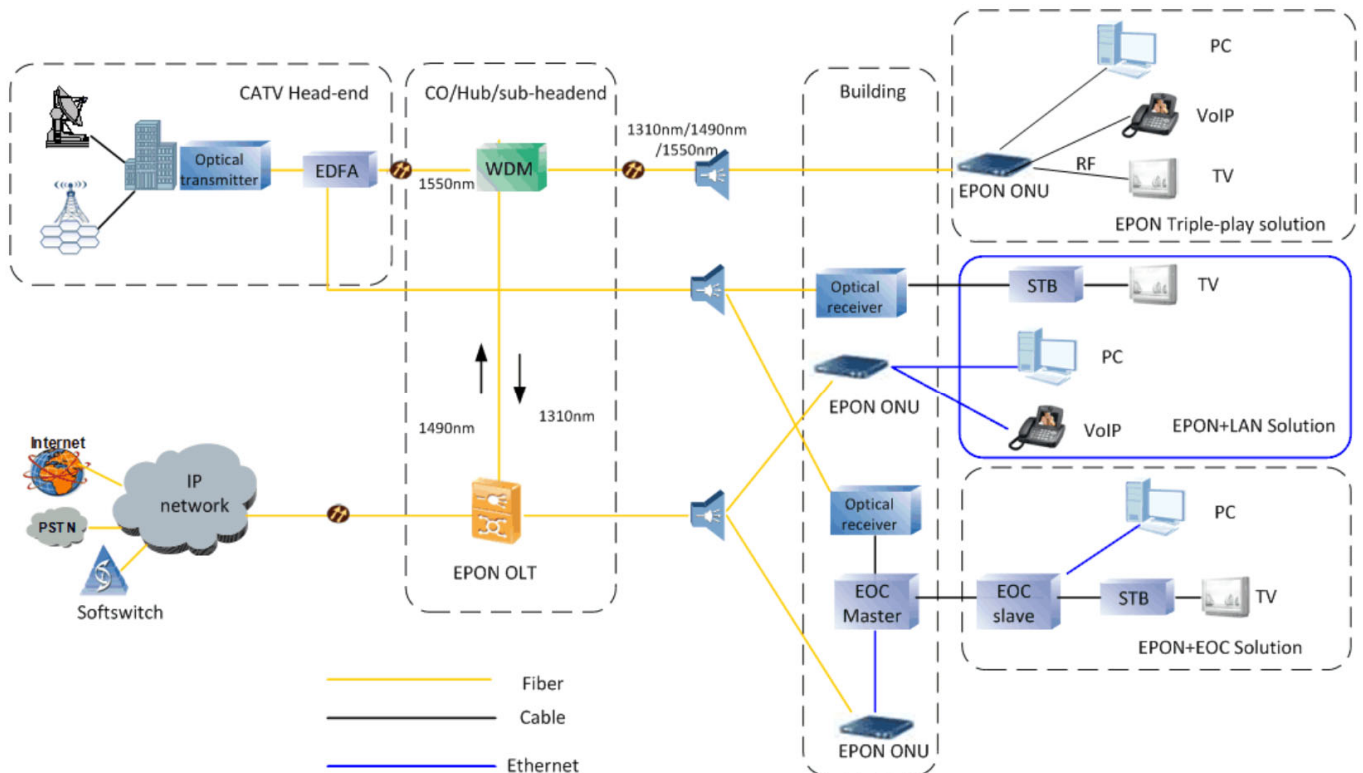


Рис. 3.8. Мережа двонаправленого доступу на основі технології EPON

Перевага рішення EPON порівняно з поточною кабельною системою полягає в тому, що після запуску воно дозволить оператору кабельного телебачення фактично забезпечити виділене з'єднання IP Ethernet для кожного клієнта більш ефективним і прямим способом, ніж використання кабельних модемів DOCSIS, і дозволило б кабельним операторам і операторам FTTP бути на одному ринку для головних станцій, концентраторів і обладнання для приміщень користувачів і скористатися перевагами економії на масштабі.

Telesail, використовуючи свою технологію EPON, може забезпечити чудову продуктивність мережі доступу HFC, яка повністю відрізняється від традиційної системи CATV. Telesail EPON повністю використовує або орендує існуючу мережу кабельного телебачення та IP-мережу метро як готову до використання мережу без додаткових витрат на будівництво. Справжня мережа Triple Play через IP досягається за

найменших експлуатаційних витрат. Система EPON має стандартну відкриту архітектуру, інтелектуальне керування, застосовна до великомасштабного відеоспостереження з високою щільністю з високими вимогами до якості зображення.

Сьогодні кабельні оператори пропонують послуги на основі EPON для комерційних клієнтів зі швидкістю передачі даних до симетричних 10 Гбіт/с/10 Гбіт/с. Переваги EPON включають нижчі капітальні витрати на обладнання, більш стабільні та надійні технології та продукти, а також нижчі експлуатаційні витрати [16].

### **3.3. Схема розподілу обладнання та підключення оптоволоконного кабелю з центрального офісу до квартир**

Під час розгортання архітектури пасивної оптичної мережі PON сервіс-провайдери одразу стикаються з кількома суттєвими проблемами:

Смуга пропускання в дереві оптоволоконних ліній мережі PON використовується якомога більшою кількістю абонентів. Загальна пропускна здатність низхідного потоку не може відповідати зростанню сервісів і майбутніх вимог абонентів у довгостроковій перспективі. Ба більше, деяку частину смуги пропускання необхідно резервувати для поточних послуг (наприклад, IPTV), що призводить до скорочення загальної смуги пропускання.

Ще один недолік полягає в тому, що оскільки PON - це технологія із загальним середовищем передачі, необхідне шифрування всіх потоків даних. Для шифрування, своєю чергою, необхідна передача істотного обсягу службової інформації разом із кожним пакетом, що може призвести до помітного зниження корисної швидкості передачі даних. Наступне - це висока робоча швидкість передачі даних. У зв'язку з використанням у пасивних оптичних мережах PON спільного передавального середовища кожен кінцевий пристрій змушений працювати на сукупній швидкості передачі даних. Навіть якщо клієнт заплатив тільки за 25 Мбіт/с, кожна кінцева точка оптичної мережі в цьому дереві PON повинна працювати на швидкості 2,5 Гбіт/с. А робота електронних і оптичних пристроїв зі швидкістю, що в сто разів перевищує необхідну

швидкість передавання даних, підвищує ціну компонентів, особливо в тому разі, якщо обсяги виробництва не надто великі.

Виникає також необхідність більшої потужності оптичного сигналу. Адже при кожному розгалуженні у співвідношенні 1:2 енергетичний потенціал лінії зв'язку падає на 3,4 дБ.

Необхідно враховувати, що під час розгортання послуг для приватних абонентів сервіс-провайдери рідко досягають стовідсоткової передплати; зазвичай цей показник у кращому разі близький до тридцяти відсотків. А це означає, що структура PON мережі використовується неоптимально, і вартість обладнання для кожного абонента значно зростає, але у випадку цього проекту було обрано стратегічну ділянку міста, що є перспективною з приводу оптимального використання мережі та надання послуг за невисокою ціною [10].

Є проблеми в обслуговуванні, пошуку та усуненні несправностей, оскільки пасивні оптичні розгалужувачі не можуть передавати інформацію про несправності до центру управління мережею. До того ж, у разі пошкодження точки термінації оптичної мережі вона може передавати в дерево оптоволоконних ліній постійний світловий сигнал, що призводить до порушення зв'язку для всіх абонентів цієї пасивної оптичної мережі. Причому ця проблема може виникнути навіть унаслідок дій одного зловмисника, який у змозі перервати роботу всієї системи зв'язку в дереві, просто передавши в нього безперервний світловий сигнал.

Водночас рішення HFC Evolution на основі GPON має безліч переваг перед архітектурою на базі PON.

Архітектура HFC Evolution дає змогу сервіс-провайдеру гарантувати кожному абоненту необхідну пропускну здатність і створювати в мережі профілі смуги пропускання для кожного клієнта індивідуально. Кожен приватний або корпоративний користувач у будь-який момент може отримати симетричну смугу пропускання будь-якої необхідної йому ширини.

Ще одна перевага - це великий радіус дії. У типових конфігураціях мереж доступу HFC Evolution застосовуються недорогі одноволоконні лінії, що використовують технологію 100BX або 1000BX, із заданим максимальним радіусом дії 10 км. Є

також можливість для гнучкого зростання. У разі появи нових абонентів можна додати додаткові лінійні карти Ethernet з високим ступенем модульності. Навпаки, при використанні архітектури на базі PON підключення першого абонента до оптичного дерева вимагає наявності найдорожчого порту OLT, а при додаванні абонентів до того ж дерева PON вартість підключення кожного абонента тільки збільшується за рахунок придбання ONT. До того ж, оскільки одномодові оптоволоконні лінії не залежать від використовуваної технології та швидкості передачі даних, можна легко збільшити швидкість для одного абонента, не впливаючи на роботу інших.

Ще один безсумнівний плюс - це відокремлення абонентських ліній, властивість, притаманна архітектурі HFC Evolution. Вона важко реалізується в архітектурі пасивної оптичної мережі через загальний характер передавального середовища в дереві PON. Враховувати треба і той факт, що на сьогоднішній день виділена оптоволоконна лінія є найбільш захищеним середовищем на фізичному рівні, особливо порівняно із загальними передавальними середовищами. Ба більше, комутатори Ethernet, що використовуються в середовищах сервіс-провайдерів, покликані забезпечити поділ фізичного рівня портів і логічного рівня абонентів та мають безліч надійних функцій захисту, які в змозі запобігти практично всім спробам вторгнень. Очевидно також і те, що витрати на експлуатацію мереж HFC Evolution в топології "точка-точка" нижчі, ніж мереж з архітектурою PON FTTH.

З метою перспективності та подальшого розвитку мережі доцільно обрати варіант проектування мережі на основі технології HFC Evolution на основі GPON, оскільки послуги, що надаються, будуть високоякісними, перспективними, і в майбутньому цей варіант принесе більш вигідний фінансовий результат [16].

Схема організації мережі HFC Evolution в зоні дії АТС представлена на рисунку 3.9.

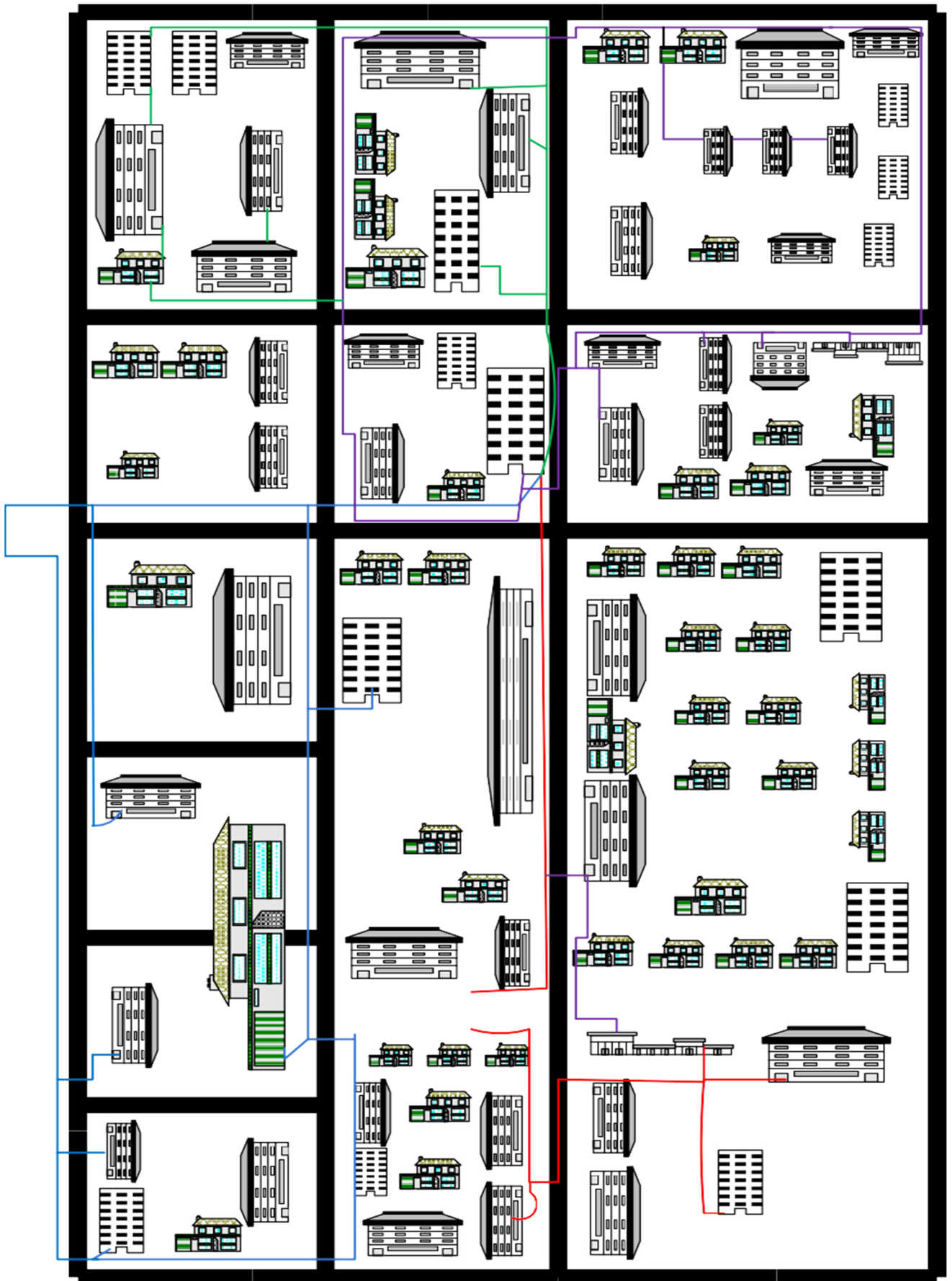


Рис. 3.9. Схема організації мережі HFC Evolution в зоні дії АТС

### 3.4. Розрахунок навантажень

Чисельність населення мікрорайону - 6100 осіб. Абоненти МСС розподілені в 1740 квартир. Наразі мультисервісна мережа DSL надає послуги 30% із загальної кількості жителів. Через це, на інші 70 % буде спрямована нова мережа HFC Evolution на базі GPON. З урахуванням того, що найактивніші абоненти вже використовують ADSL, можна розраховувати на не більше ніж 30% від решти 70% населення. Тобто з 1740 не охоплено 70% (1218 абонентів). З них, клієнтами мережі HFC Evolution на базі GPON можуть стати 30% (365 абонентів). Потрібно враховувати 20% на розвиток мережі і виходить підсумкова кількість абонентів, що обслуговуються - 438, з яких 300 абонентів відповідають квартирному сектору і 138 абонентів відповідають виробничому сектору.

У квартирному секторі абонентам пропонуватимуть такі послуги:

- Triple play services (IP-телефонія, IPTV, інтернет) - 300 абонентів.
- Відеоспостереження в під'їздах (УБД) - 120 під'їздів.
- Комунальні служби (електролічильники, холодна і гаряча вода, теплопостачання по Ethernet) - 120 абонентів.

У виробничому секторі абонентам пропонуватимуть такі послуги:

- Triple play services (IP-телефонія, IPTV, інтернет) – 138.
- Віртуальні приватні мережі для з'єднання офісів - 20 абонентів.
- Відеоспостереження в офісах (УБД) - 56 під'їздів.
- Комунальні служби (електролічильники, холодна і гаряча вода, теплопостачання по Ethernet) - 56 абонентів.

Абонентів комунальних служб -  $438 \times N$ , де  $N$  - це кількість типів лічильників. У цьому випадку - чотири лічильники по квартирі або офісу. Порт у кожному під'їзді буде використано один, далі комутатор другого рівня розмножить Ethernet порти на необхідну кількість лічильників, тобто 1752. Необхідно провести розрахунок навантаження для передачі мультисервісного трафіку мережею HFC Evolution, тобто визначити необхідну швидкість передачі для кожного порту (табл. 3.1)

## Необхідні швидкості передачі за кожним видом послуг

Послуга	Швидкість передачі (Мб/с)
Доступ до мережі Інтернет	20
IP - телефонія	4
IPTV	6-12 (Роздільна здатність за параметрами відео FullHD / UHD)
Електролічильники, холодне та гаряче водопостачання	0,064
Відеоспостереження в під'їздах	4 (Роздільна здатність за параметрами відео FullHD)
Віртуальні приватні мережі для з'єднання офісів	6-12

Необхідна швидкість передачі в порт квартири - 12 Мб/с. Необхідна швидкість передачі в порт офісу - 20 Мб/с.

Середня швидкість передачі в будівлі - 400-800 Мб/с.

Для здійснення передачі трафіку мережею HFC Evolution на базі GPON використовується транспортний протокол - GFP (generic framing protocol). В АТС розташоване обладнання OLT (Optical Line Terminal), що має 64 порти з коефіцієнтом розщеплення 1:64, кожен з яких під'єднаний до оптичної муфти в стратегічному місці (в колодязях) і розгалужує кабелі до спліттерів POS (Passive Optical Splitter), що знаходиться в кожному будинку. Звідси, оптичний кабель йде до самих квартир до обладнання ONU (Optical Network Unit).

### **3.5. Вибір і розрахунок обсягу обладнання, складання плану розміщення обладнання**

Система HFC Evolution складається з терміналу, що знаходиться на центральній станції СО, терміналу оптичної мережі (optical network terminal, ONT) на стороні ко-



ристувача та оптичної розподільчої мережі (optical distribution network, ODN). Структура HFC Evolution реалізує технологію GPON, яка дає змогу створювати додатки точка-точка і точка-багато точок. Мережа ODN забезпечує фізичний зв'язок між терміналами OLT і ONT. Загалом, мережа ODN складається з оптичних кабелів, конекторів, оптичних розгалужувачів та інших елементів, необхідних для встановлення та з'єднання перерахованого вище обладнання. Класична структура мережі ODN складається з 5 частин: магістрального багатожильного оптичного кабелю, розподільчого вузла, оптичного розподільчого кабелю та коаксіального, вузла доступу і кінцевого абонентського кабелю.

Мережа ODN - це головна складова мережі HFC Evolution. Тому структура мережі ODN безпосередньо впливає на загальну вартість, продуктивність, надійність і потенційні можливості системи.

- Fiber Distribution Point - Вузол розподілу оптичних кабелів.
- Fiber Access Point - Вузол оптичного доступу.
- ONT Terminal - Термінал ONT.
- Feeder optical cable - Магістральний оптичний кабель.
- Distribution optical cable - Оптичний розподільний кабель.
- Drop cable - Кінцевий кабель.
- CO - Центральна станція (CO).
- Main equipment as OLT, ODF & management equipment - Основне обладнання (OLT, ODF) і керуюче обладнання.
- Feeder O.C. Subsystem - Магістральна підсистема O.C.
- Optical cable and equipment between CO and FDP - Оптичний кабель і обладнання між CO і FDP.
- Distribution O.C. Subsystem - Розподільна підсистема O.C.
- Optical cable and distribution equipment between FDP and fiber access equipment - Оптичні кабелі та розподільче обладнання між FDP та обладнанням оптичного доступу
- Drop O.C. Subsystem - Кінцева підсистема O.C.

- Drop cable and duct from access point to each user - Кінцеві кабелі від вузла доступу до кожного абонента
- O.C. Terminal Subsystem - Термінальна підсистема O.C.
- FTTH's end point, ONT connects with fiber socket - Термінальний вузол FTTH, термінал ONT з'єднується з оптичним роз'ємом.

Для проектування мережі HFC Evolution на базі технології GPON, було обрано обладнання компанії Huawei.

Під час будівництва мережі ODN необхідно врахувати безліч чинників, і будь-яке упущення може призвести до небажаних результатів під час реалізації цього проєкту. Необхідно зосередити свою увагу на таких моментах:

- Вибір місця розташування центральної станції (Central Office - Central Office);
- Система розгалуження кабелів і місце розташування розгалужувача;
- Розташування розподільних кабелів у різних будівлях і за різних умов.
- Кінцева мета - оптимальний баланс між економічністю, практичністю, гнучкістю, надійністю, керованістю і зручністю обслуговування проєкту.

У реальних додатках OLT може покривати область, де поєднуються різні типи будівель, як-от висотні будинки, багатоповерхові будинки та котеджі. У таких випадках розробляється інтегроване рішення ODN, засноване на базових рішеннях ODN.

Для того, щоб відповідати вимогам побудови мереж оптичного зв'язку, компанія Huawei розробила й налагодила виробництво серії обладнання ODN, що покриває кожну ділянку мережі від OLT до ONT, включно з модулем розподілу оптичних кабелів (Optical Distribution Frame - ODF, оптичний крос, розгалужувач, блок розподілу оптичних кабелів, блок терміналу доступу, тощо).

MA5680T є обладнанням доступу до гігабітної пасивної оптичної мережі (GPON), розроблене компанією Huawei. MA5680T (див. рис. 3.10) надає такі якісні послуги, що характеризуються великою місткістю, високою швидкістю та широкою смугою пропускання:

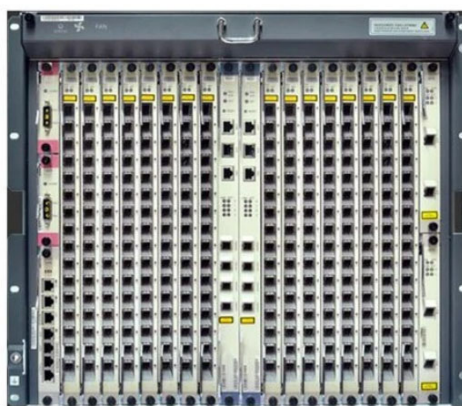


Рис. 3.10. Обладнання MA5680T

Дане обладнання має 16 сервісних слотів. Одна плата послуг PON має 4 порти PON, кожен порт підтримує коефіцієнт розщеплення 1:64, таким чином, одна сервісна полка підтримує до 4096 абонентів. Дальність передачі - 20 км.

Для доступу за інтерфейсом GPON пропускна здатність MA5680T становить у низхідному напрямку 25 Гбіт/с, а у висхідному - 12,5 Гбіт/с.

MA5680T має функцію управління багатоадресною передачею, що характерно для обладнання операторського класу. Ця функція дає змогу операторам надавати та керувати додатковими широкосмуговими послугами багатоадресної передачі:

- IGMP-проксі/ IGMP Snooping, підтримується до 1000 груп багатоадресної передачі.
- Функції попереднього вступу та швидкого виходу з групи.
- Різні режими аутентифікації для різних операторів багатоадресної передачі.
- Попередній перегляд каналів і збір статистики за переглядами.
- Керована багатоадресна передача для управління доступом користувачів багатоадресних груп.

**Рішення для відеопослуг.** Обладнання MA5680T підтримує 2 способи передавання відео: IPTV і кабельне телебачення (CATV). Використання MA5680T разом з IPTV дасть змогу оператору керувати до 1000 відеоканалів. А у випадку з CATV об-

ладнання MA5680T надаватиме аналогове або цифрове телемовлення по кабелю з використанням оптрона з довжиною хвилі 1550 нм. Користувачі зможуть скористатися послугами передавання відео, даних і мовлення оптоволоконним кабелем.

**Рішення для голосових послуг.** Для передавання мови в обладнанні MA5680T використовується технологія VoIP (Мова поверх IP). Термінали надають два способи реалізації VoIP (див. рис. 3.11):

- Перетворення мови з VoIP виконується медіашлюзом, вбудованим в ONT.
- Перетворення мови з VoIP виконується зовнішнім медіашлюзом.

Термінал OLT у висхідному напрямку підключається до IP-мережі через порти FE, GE або 10GE. Обробку сигналізації під час передавання мови виконує обладнання Softswitch.

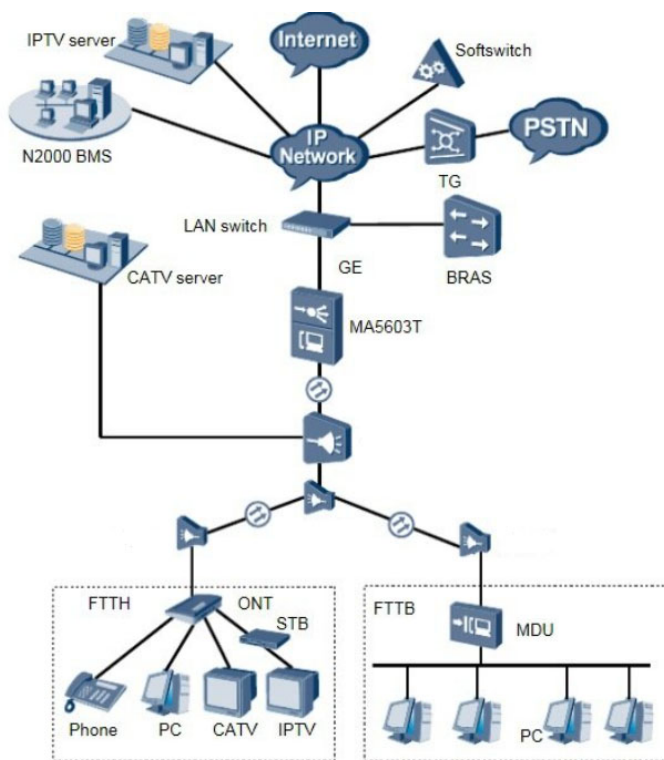


Рис. 3.11. Рішення для голосових послуг MA5680T

Виконуючи функції терміналу оптичної лінії (OLT) в мережі HFC Evolution, пристрій MA5680T працює з блоком оптичної мережі (ONU) і терміналом оптичної мережі (ONT), надаючи послуги передавання даних, голосу і відео.

- Широкий спектр мережевих додатків.
- Оптоволокну до дому (FTTH).
- Оптоволокну до будівлі (FTTB).
- Передача базовою станцією.
- Взаємодія по виділеній IP-лінії.
- Масова реалізація різних ISP.
- Послуги широкосмугового доступу.
- Оптичний доступ "точка-точка".
- Каскадне підключення до Ethernet.

**Рішення з передавання трафіку TDM.** Потужний механізм QoS обладнання MA5680T надає ідеальне рішення з передачі потоків E1. Фрейм GEM забезпечує відповідну якість передавання E1 по GPON, а також дає змогу розв'язати проблему синхронізації E1 поверх IP (див. рис. 3.12). У цьому рішенні досягається така сама якість, як і в передачі з використанням систем SDH.

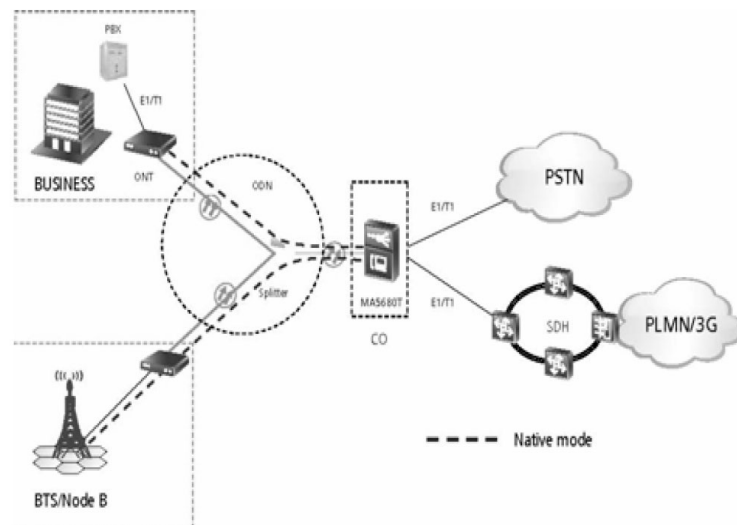


Рис. 3.12. Передача E1 за допомогою MA5680T

До MA5680T висуваються такі вимоги:

- Висока пропускна здатність і дальність передачі, що дають змогу розширити зону доступу.
- Інтегровані послуги з передавання даних, голосу та відео по волокну, що задовольняють вимогам клієнта.

На рисунку 3.13 представлено типова схема реалізації мережі з використанням MA5680T.

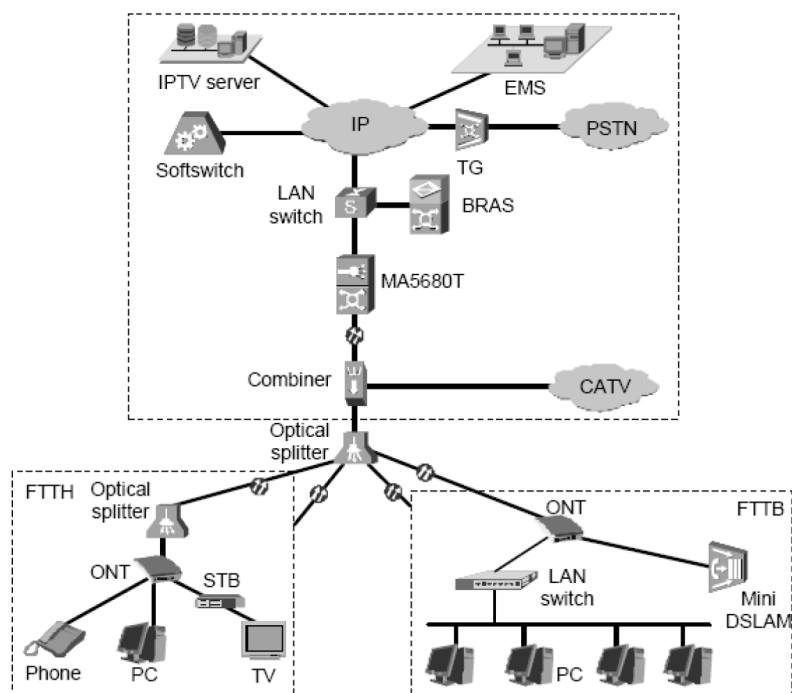


Рис. 3.13. Типова схема реалізації мережі з використанням MA5680T.

MA5680T надає наступні рішення по QoS, що дають змогу підвищити рівень управління різними послугами.

- Комплексні рішення QoS (від OLT до ONU/ONT) по всій мережі.
- Диспетчеризація на рівнях OLT і ONT, що забезпечує QoS шляхом диференціації різних послуг і користувачів.
- Дві політики організації черг на основі пріоритетів 802.1p або пріоритетів трафіку (802.1p за замовчуванням).
- Комбінація SP (Суворий пріоритет) і WRR (зважено-циклічний алгоритм) використовується в низхідному і висхідному напрямках.
- Організація 8-пріоритетних черг.
- Стратегії QoS на основі правил трафіку.
- Фільтрація пакетів.
- Переадресація пакетів.
- Дзеркальне копіювання трафіку.

- Облік трафіку (статистика).
- Регулювання правил обслуговування трафіку.
- Формування черг на портах.
- Обмеження швидкості порту.
- Стратегії пріоритетів.
- Стратегії зміни VLAN.

**Централізована уніфікована уніфікована платформа управління.** Рішення iManager N2023 не тільки підтримує централізоване управління терміналами MDU, ONT і DSL модемами, а й також управління обладнанням DSLAM і MSAN виробництва компанії Huawei. iManager N2023 є унікальною уніфікованою системою управління, що здійснює комплексне управління мережею в цілому.

**Потужний механізм управління терміналами.** iManager N2023 керує всіма терміналами, з'єднаними з OLT як мережевими елементами (NE), таким чином реалізується конструкція мережі з великою ємністю і меншою кількістю вузлів.

MA5680T підтримує управління терміналами HFC Evolution на базі GPON. Конфігурування VLAN і портів ONU/ONT виконується за допомогою інтерфейсу OMCI (ONT management and control interface).

Пристрої ONU/ONT можуть конфігуруватися в режимі "офлайн" через OLT, водночас конфігурації ONU/ONT зберігаються на OLT, і під час увімкнення на ONU/ONT автоматично перезаписуються дані.

За допомогою iManager N2023 здійснюється конфігурація, щоденний моніторинг, діагностування терміналів ONT, а також визначення їхнього місця розташування. Таким чином, реалізується віддалене технічне обслуговування та управління терміналами, що істотно знижує OPEX.

## ВИСНОВКИ

Оптоволоконні мережі доступу, що розгортаються нині, базуються на різних архітектурах і технологіях. І хоча кожна схема розгортання мережі FTTH має свої переваги, великий ризик того, що економія в короткостроковій перспективі на витратах на оптоволоконну інфраструктуру під час використання архітектури FTTH на базі PON уже в осяжному майбутньому може істотно обмежити її використання. У цьому проєкті пропонувалися кілька варіантів побудови нової мультисервісної мережі, яка задовольнила б високі вимоги інформаційного суспільства, що швидко розвивається. Було обрано варіант проєктування мережі з використанням технології HFC Evolution на базі GPON, як більш зручним і перспективним. HFC Evolution надає найефективніший спосіб підтримки великої кількості географічно рознесених користувачів, що володіють найрізноманітнішими мережевими можливостями і вимогами до швидкості доступу, за допомогою єдиного оптичного виносу.

Для побудови оптичної МСС GPON було обрано використання обладнання Huawei. Обладнання Huawei має низку унікальних характеристик, які дадуть змогу компанії підтримувати сучасні високошвидкісні ширококутні сервіси, забезпечуючи абонентів найширшим спектром послуг, починаючи від телефонії та надання доступу до мережі Інтернет до багатоадресного передання, об'єднання приватних мереж і надання відеосервісів (IPTV). Необхідно зазначити, що поряд з підвищенням якості послуг зв'язку це дасть змогу зробити послуги операторів доступнішими, адже вартість оптичних абонентських терміналів компанії Huawei не відрізняється від вартості "мідних" HDSL модемів.

На основі чіткого розуміння технології HFC Evolution і додатків оптично-коаксіального зв'язку, було розроблено:

- Серія рішень ODN для висотних, багатоповерхових офісних будівель і котеджів, а також відповідні засоби інтеграції (вибір пасивного обладнання та різновиди лінійних споруд);



- Технологія надання послуг, включно з плануванням мережі, розробленням докладної архітектури мережі, інтеграцією обладнання, виконанням проєкту та подальшою експлуатацією.

Для здійснення передачі трафіку мережею HFC Evolution на базі GPON використовується транспортний протокол - GFP (generic framing protocol). На ділянці мережі абонентського доступу від ONU до квартир і до комутаторів комунальних послуг у під'їздах будинків буде використовуватися кабель кручена пара (UTP), категорія 5, а мережу HFC Evolution буде побудовано з використанням трьох видів кабелів і патчкордів та з обладнанням Huawei.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. A. Engelen and N. Weling, "PLC-xDSL Dynamic Interference Mitigation," 2021 IEEE International Symposium on Power Line Communications and its Applications (ISPLC), Aachen, Germany, 2021, pp. 25-30.
2. V. G. Sannikov, A. V. Alyoshintsev and A. N. Sak, "Advanced DMT Modem as an Element of the PON / xDSL System," 2022 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications (SYNCHROINFO), Arkhangelsk, Russian Federation, 2022, pp. 1-4.
3. M. Sharma, M. Moonen, Y. Lefevre and P. Tsiaflakis, "MIMO Time Domain Equalizer Design for Long Reach xDSL MIMO Channel Shortening," in IEEE Access, vol. 8, pp. 203468-203477, 2020.
4. P. Jares, J. Vodrazka and P. Lafata, "Experimental verification of a simulation model for extra-fast communication on twisted pair lines," 2020 19th International Conference on Mechatronics - Mechatronika (ME), Prague, Czech Republic, 2020, pp. 1-4.
5. N. Keukeleire, B. Hesmans and O. Bonaventure, "Increasing Broadband Reach with Hybrid Access Networks," in IEEE Communications Standards Magazine, vol. 4, no. 1, pp. 43-49, March 2020.
6. Yarlalagadda, B., Smith, S.J., Mignone, B.K., Mallapragada, D., Randles, C.A. and Sampedro, J., 2022. Climate and air pollution implications of potential energy infrastructure and policy measures in India. Energy and Climate Change, 3, p.100067.
7. He, G., Mallapragada, D.S., Bose, A., Heuberger, C.F. and Gençer, E., 2021. Hydrogen supply chain planning with flexible transmission and storage scheduling. IEEE Transactions on Sustainable Energy, 12(3), pp. 1730 - 1740.
8. He, G., Mallapragada, D.S., Bose, A., Heuberger, C.F. and Gençer, E., 2021. Sector coupling via hydrogen to lower the cost of energy system decarbonization. Energy & Environmental Science, 14, 4635-4646.

9. T. Horvath, M. Jurcik, V. Oujezsky and V. Skorpil, "GPON Analyzer - Frame Parser Module," 2019 42nd International Conference on Telecommunications and Signal Processing (TSP), Budapest, Hungary, 2019, pp. 748-752.
10. V. Oujezsky, T. Horvath, M. Jurcik, V. Skorpil, M. Holik and M. Kvas, "Fpga Network Card And System For Gpon Frames Analysis At Optical Layer," 2019 42nd International Conference on Telecommunications and Signal Processing (TSP), Budapest, Hungary, 2019, pp. 19-23.
11. Mowry, A.M. and Mallapragada, D.S., 2021. Grid impacts of highway electric vehicle charging and role for mitigation via energy storage. *Energy Policy*, 157, p.112508.
12. Lara, C.L., Mallapragada, D.S., Papageorgiou, D.J., Venkatesh, A. and Grossmann, I.E., 2018. Deterministic electric power infrastructure planning: Mixed-integer programming model and nested decomposition algorithm. *European Journal of Operational Research*, 271(3), pp.1037-1054.
13. D. E. Sánchez M, J. A. Vega L, D. F. Rueda and A. A. Rodriguez F, "Remote Monitoring of RF Amplifiers in HFC Networks: Voltage Drop Detection due to Power Blackouts," 2022 Congreso Internacional de Innovación y Tendencias en Ingeniería (CONIITI), Bogota, Colombia, 2022, pp. 1-6.
14. O. B. Panagiev, "Investigation of the interference in signal transfer between different cable operators in CATV/HFC interlaced cable distribution networks," 2021 56th International Scientific Conference on Information, Communication and Energy Systems and Technologies (ICEST), Sozopol, Bulgaria, 2021, pp. 175-1780.
15. G. A. Alejandro and M. J. Emilio, "Data Transfer Rates in HFC Networks," 2020 IEEE Congreso Bienal de Argentina (ARGENCON), Resistencia, Argentina, 2020, pp. 1-8.
16. Y. Hsu et al., "Using Hyperspectral Imaging and Deep Neural Network to Detect Fusarium Wilton Phalaenopsis," 2021 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium IGARSS, Brussels, Belgium, 2021, pp. 4416-4419.