

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:** «Мультисервісна мережа з застосуванням технології SDN»

**Виконавець:** \_\_\_\_\_ Ігор ЖАВОРОНКОВ  
(підпис)

**Керівник:** \_\_\_\_\_ Веніамін АНТОНОВ  
(підпис)

**Нормоконтролер:** \_\_\_\_\_ Денис БАХТІЯРОВ  
(підпис)

**Київ 2023**

# НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет аеронавігації, електроніки та телекомунікацій

Кафедра телекомунікаційних та радіоелектронних систем

Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Освітньо-професійна програма «Телекомунікаційні системи та мережі»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Роман ОДАРЧЕНКО

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2023 р.

## ЗАВДАННЯ

### на виконання кваліфікаційної роботи

Жаворонкова Ігора Олеговича

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

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Мультисервісна мережа з застосуванням технології SDH»

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 міста

4. Зміст пояснювальної записки: аналіз існуючої транспортної мережі, огляд та аналіз мультисервісних мереж, проектування мультисервісної мережі з наданням послуг Triple Play з використанням технології SDH

5. Перелік обов'язкового графічного (ілюстративного) матеріалу: слайди презентації в програмному пакеті Microsoft Power Point

## 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 існуючої транспортної мережі	26.05.2023- 29.05.2023	Виконано
4	Огляд та аналіз мультисервісних мереж	30.05.2023- 07.06.2023	Виконано
5	Проектування мультисервісної мережі з наданням послуг Triple Play з використанням технології SDN	08.06.2023- 14.06.2023	Виконано
6	Усунення недоліків та захист кваліфікаційної роботи	15.06.2023- 25.06.2023	Виконано

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

Керівник кваліфікаційної роботи

\_\_\_\_\_ (підпис керівника)

Веніамін АНТОНОВ

(П.І.Б.)

Завдання прийняв до виконання

\_\_\_\_\_ (підпис випускника)

Ігор ЖАВОРОНКОВ

(П.І.Б.)

## РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота «Мультисервісна мережа з застосуванням технології SDH» містить 70 сторінок, 21 рисунок, 2 таблиці, 14 використаних джерел.

МУЛЬТИСЕРВІСНА МЕРЕЖА, ТЕХНОЛОГІЯ SDH, СИНХРОННИЙ ЦИФРОВИЙ ІЄРАРХІЧНИЙ, ПЕРЕДАЧА ДАНИХ, ВИСОКОШВИДКІСНІ КАНАЛИ, МЕРЕЖЕВІ ПОСЛУГИ, КЕРУВАННЯ МЕРЕЖЕЮ, ЕФЕКТИВНІСТЬ МЕРЕЖІ, МОНІТОРИНГ МЕРЕЖІ, БЕЗПЕКА МЕРЕЖІ.

**Мета** - дослідження технології SDH (Synchronous Digital Hierarchy) та її застосування у створенні мультисервісної мережі.

**Об'єктом дослідження** є сама мультисервісна мережа, яка є комплексним об'єктом, що складається з різноманітних елементів та систем.

**Предметом дослідження** є комплексний аналіз технології SDH як засобу передачі різноманітних послуг у мережі зв'язку в мультисервісній мережі.

**До практичних застосувань результатів дослідження** можуть належати:

1. Розробка нових мереж зв'язку та модернізація існуючих мереж з використанням технології SDH з метою забезпечення передачі різноманітних послуг високої якості.
2. Оптимізація мультисервісних мереж з використанням технології SDH з метою зниження витрат на їх будівництво та експлуатацію.
3. Підвищення ефективності керування та моніторингу мультисервісних мереж з використанням технології SDH, що дозволить забезпечити їх безперебійну роботу та вчасну діагностику несправностей.
4. Використання результатів дослідження для навчання студентів та фахівців з телекомунікацій та інформаційних технологій, що дозволить підготувати кваліфікованих кадрів для роботи в галузі телекомунікацій.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ .....	6
ВСТУП .....	9
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧОЇ ТРАНСПОРТНОЇ МЕРЕЖІ .....	10
1.1. Аналіз існуючої мережі зв'язку .....	10
1.2. Аналіз транспортної мережі .....	13
1.3. Постановка завдання .....	14
РОЗДІЛ 2. ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ МУЛЬТИСЕРВІСНИХ МЕРЕЖ .....	22
2.1. Мультисервісні мережі. Архітектура мультисервісних мереж .....	22
2.2. Стандарт Ethernet (10 BASE-T; IEEE 802.3) .....	28
2.3. Технологія Fast Ethernet .....	29
2.4. Побудова мережі з використанням Gigabit Ethernet .....	30
2.5. Метод доступу CSMA/CD .....	36
2.6. Середовище передавання даних Ethernet .....	41
РОЗДІЛ 3. ПРОЄКТУВАННЯ МУЛЬТИСЕРВІСНОЇ МЕРЕЖІ З НАДАННЯМ ПОСЛУГ TRIPLE PLAY З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЇ SDN .....	42
3.1. Постановка завдання і мета проєкту .....	42
3.2. Загальний опис проєктованої мережі .....	43
3.3. Структура мережі .....	44
3.4. Обладнання проєктованої мережі .....	46
3.5. Додатки системи управління мережею .....	57
3.6. Забезпечення якості обслуговування трафіку .....	58
3.7. Маршрутизація Gigabit Ethernet мережі .....	61
3.8. IP-адресація мережі Gigabit Ethernet .....	62
3.9. Розрахунок обладнання гнучкого комутатора .....	63
ВИСНОВКИ .....	68
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	69

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

**MCM** - мультисервісна мережа.

**SDH** - синхронний цифровий ієрархічний.

**VC** - віртуальний канал.

**VP** - віртуальний шлях.

**STM** - синхронний транспортний модуль.

**SPE** - структурний елемент.

**LOF** - втрата фрейм-синхронізації.

**AIS** - автоматична ізоляція неполадок.

**FERF** - рамка зі збоєм FEBE.

**MS-AU** - адміністративна одиниця управління.

**MCM** - мультисервісна мережа.

## ВСТУП

Сучасний етап розвитку системи електрозв'язку складається з двох головних особливостей. Перша особливість - формується платіжно-спроможний попит на нові інфокомунікаційні послуги у користувачів, які приносять прибутки провайдерам. Друга особливість - нові технології передачі, комутації та обробки даних дають можливість ефективно модернізувати мережі електрозв'язку. Це приходить за рахунок поступового переходу до мультисервісних мереж, що підтримують широкий спектр інфокомунікаційних послуг.

Сьогодні, телекомунікаційні мережі розвиваються в напрямі ринку мультисервісних послуг, впровадження нових телекомунікаційних і інформаційних технологій. Впровадження нових послуг, як і підтримка вже існуючих, вимагає значних мережевих ресурсів.

Ринок телекомунікацій вимагає збільшення якості наданих клієнтам послуг і як слідство, збільшення капіталовкладень у розвиток мереж. Зі своєї сторони, провайдери зв'язку зацікавлені в зниженні експлуатаційних витрат і підвищенні ефективності експлуатації мереж зв'язку та їх елементів.

Аналіз розвитку сучасних мереж зв'язку показує, що необхідність в передачі трафіка в мережах електрозв'язку, що характеризуються різними видами даних (відео, голос, інформація), зростає швидкими темпами. Такі мережі зв'язку, які отримали назву мультисервісні, викликають інтерес, в першу чергу, своєю пропускнуою здатністю і можливостями передачі широкого набору послуг як Triple Play (відео, голос, дані). Одна з технічних проблем при передачі голосових і відео-повідомлень по мережах з пакетною комутацією це - забезпечення QoS.

В нинішній час, оператор мережі, що забезпечує своїм користувачам широкопосмугове IP-підключення (з швидкістю не менше ніж кілька Мбіт/с через IP-канал). Технічно такі IP-канали можуть бути різними (на основі xDSL, Ethernet, PON), головне, щоб вони забезпечували необхідні різні рівні обслуговування [1-14].

**Актуальність теми.** Тема «Мультисервісна мережа з застосуванням технології SDH» є актуальною у сучасному світі, оскільки швидкість та обсяги передачі даних в мережах невідмінно зростають, а користувачі вимагають якісного та безперервного доступу до різноманітних послуг. Технологія SDH забезпечує синхронну передачу даних в мережі, що дозволяє забезпечити високу якість обслуговування користувачів та ефективно використовувати мережеві ресурси. Крім того, використання технології SDH дозволяє забезпечити масштабованість мережі та відмовостійкість. Створення мультисервісної мережі з використанням технології SDH дозволяє передавати різноманітні послуги (голосові, дані та відео) з використанням однієї фізичної мережі, що знижує витрати на будівництво та обслуговування мережі. Крім того, це забезпечує зручний та ефективний доступ до послуг для користувачів.

**Мета і завдання дослідження.** *Мета* - дослідження технології SDH (Synchronous Digital Hierarchy) та її застосування у створенні мультисервісної мережі.

Для досягнення поставленої мети вирішуються такі завдання.

1. аналіз існуючої мережі міста;
2. вивчення принципів технології SDH та її особливостей;
3. дослідження можливостей створення мультисервісної мережі з використанням технології SDH на базі існуючої мережі міста;
4. розроблення рекомендацій щодо створення мультисервісної мережі з використанням технології SDH.

**Об'єктом дослідження** є сама мультисервісна мережа, яка є комплексним об'єктом, що складається з різноманітних елементів та систем.

**Предметом дослідження** є комплексний аналіз технології SDH як засобу передачі різноманітних послуг у мережі зв'язку в мультисервісній мережі.

**Практичне значення отриманих результатів.**

До практичних застосувань результатів дослідження можуть належати:

1. Розробка нових мереж зв'язку та модернізація існуючих мереж з використанням технології SDH з метою забезпечення передачі різноманітних послуг високої якості.



2. Оптимізація мультисервісних мереж з використанням технології SDN з метою зниження витрат на їх будівництво та експлуатацію.

3. Підвищення ефективності керування та моніторингу мультисервісних мереж з використанням технології SDN, що дозволить забезпечити їх безперебійну роботу та вчасну діагностику несправностей.

4. Використання результатів дослідження для навчання студентів та фахівців з телекомунікацій та інформаційних технологій, що дозволить підготувати кваліфікованих кадрів для роботи в галузі телекомунікацій.

**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 ІСНУЮЧОЇ ТРАНСПОРТНОЇ МЕРЕЖІ

### 1.1. Аналіз існуючої мережі зв'язку

Існуюча мережа побудована за принципом SDH - кільця (STM - 4 і STM - 1) (рис. 1.1).

Функції опорно-транзитної станції (ОПТС), вузла спецслужб (ВСС), і вузла відомчих телефонних станцій (ВВТС) виконує АМТС/АТСЕ-32/. У ВВТС найімовірніший індекс «39». Абоненти ВВТС виходять на міську мережу за допомогою набору додаткового індексу, що має різні значення.

На мережі організований сільсько-пригородний вузол (ВСП) на основі обладнання DRX-4 з індексом «35X», який розміщений у тому ж будинку А0С- здійснюється зв'язок зі станцією сільсько-пригородної мережі між собою і зі станціями міської телефонної мережі. Користувачі сільсько-пригородного вузла на міську мережу виходять через набір додаткового індексу «9».

Всередині міста функції опорно-транзитної станції (ОПТС) виконує АТСЕ-54, що об'єднує SDH - кільця: STM-1, в яку під'єднані станції АТ0-Т5 ТМ-4, підключена комбінована станція АМТС/АТСЕ -32/30, АТСЕ-54, АТСЕ-53, АТСЕ-55/51 типу DMS, АТСС-45/57 і АТСС-47/52, в яку включена цифрова підстанція типу DRX-4.

В даний час на телефонній мережі шестизначна система нумерації. Кількість АТС, тип, ємність, нумерація показана в таблиці 1.1.

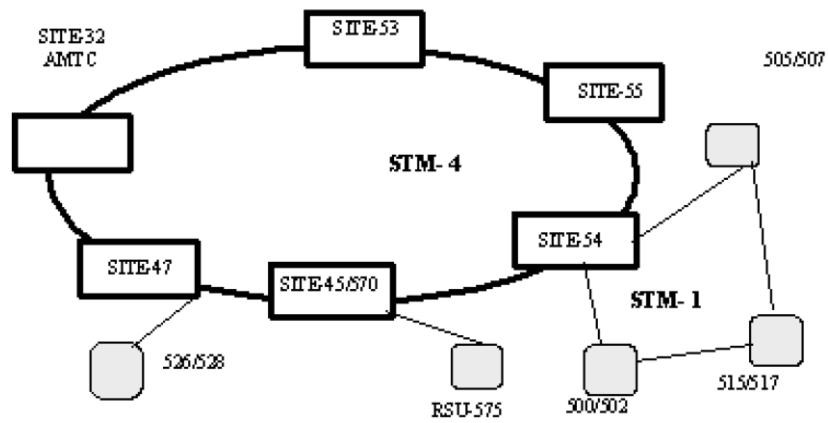


Рис. 1.1. Схема організації існуючої мережі

Таблиця 1.1

Типи та ємність існуючих АТС

	АТС, ЦБ, УБ	Нумерація	Ємність нумерації	Тип станції, системи	Рік встановлення
	АТС-32	320000 - 329999  300000 - 301472  309000 - 309100  050 - 059, 088 - 089, 119 - 120	11587	DMS100/200	1995/2002
	АТС-526	526000 - 528999  525000 - 525194	3195	DMS100/200	2003
	АТС-520	520000 - 524479	4480	DMS100/200	2003
	АТС-515	515000 - 517555	2556	DMS100/200	2003

	ATC-54	540000 - 549999,  504000 - 504999,  507557 - 509336  529000 – 529051	12832	DMS100/200	2001
	ATC-505	505000 – 507495	2496	DMS100/200	2001
	ATC-500	500000 – 503194	3195	DMS100/200	2001
	ATC-570	570000 – 573833	3834	DMS100/200	2001
	ATC-575	575000 – 578833	3834	DMS100/200	2001
	ATC-337	337000 – 338103	1104	DRX-4	2001
	ATC-53	530000 - 538999  539400 - 539984  539000 – 539051	9637	DMS100/200	2002
	ATC- 55/51	550000 - 559999  510000 - 512721  519000 – 519051	12774	DMS100/200	2002

## 1.2. Аналіз транспортної мережі

Топологія «Кільце» широко застосовується при побудові мереж SDH (зі швидкістю 155 і 622 Мбіт/с). Її головне достоїнство - це легка організація захисту типу 1:1 завдяки наявності в мультиплексації SMUX двох оптичних агрегатних виходів (захід і схід). Якщо при прийомі блоку приходить збій в одному з кілець, то системою управління автоматично вибирається той же блок з іншого кільця.

Є і інший метод захисту - це можливість переключення з «Основного» кільця на «Резервне». Спочатку блоки TU - мають доступ тільки до основного кільця. Під час збою відбувається замикання основного і резервного кілець на кордонах дефектної ділянки, тобто, приймач і передавач агрегатного блоку з'єднуються на відповідній стороні мультиплікатора.

Згідно з основною схемою SDH синхронні транспортні моделі STM-1 можуть мультиплексуватися з коефіцієнтом N в синхронний транспортний модуль STM-N для подальшої передачі інформації в канал зв'язку.

Існує безліч можливих способів формування STM-1. У даній схемі обраний спосіб:

C12-VC12-TU12-TUG22-VC31-YU31-VC4-AU4-AUG-STM+1

Цю схему формування моделі називають логічною, так як вона набагато більше основної (реальної), де положення окремих елементів, відповідає їх місцю в логічній схемі і використовується безліч запасних або фіксуєчих елементів, які грають роль «наповнювачів» (елементів управління або вирівнювання) SDH фрейму.

Спершу наповнюється контейнер C-12 з каналу доступу E1. Його потік (2,048 Мбіт / с) краще представити в ході цифрової 32-байтової послідовності, циклічно повторюваної з частиною 8 кГц. У цю послідовність можна ввести вирівнюючі, а також фіксуєчі і керуючі біти. Віртуальний контейнер VC-12, що утворюється, потрібен бути вказівником TH-12 PTR і перетворюється на блоковий канал (потрібний блок)

фут. 9x4). При мультиплексуванні (4:1) цей канал утворюється в групу блокових каналів TU 6-22, у яких сумарна довжина  $36 * 4 = 144$  байт. Мультиплексування чотирьох каналів приходить раніше при побудові VC-12, зі стандартною довжиною 140 байтів, до цього віртуального контейнера «пристиковується» поле вказівників, що формує TU-12.

Наступний етап - це створення VC - 31. Спочатку формується група TUG-22 шляхом мультиплексування (4:1) блокових каналів TU-12. Довжина послідовності зростає до 576 байт, до C-31 приєднується заголовок VC - 31 РОН довжиною в байт. Організовується блоковий канал TU-31. До VC - 31 додається вказівник TU-31PTR довжиною 3 байта. Довжина послідовності збільшується до 585 байт. Подальше мультиплексування (4:1) блокових каналів TU-31 призводить до утворення послідовності довжиною  $584 * 4 = 2430$  байт. Зауважимо, що і тут мультиплексування приходить раніше - при формуванні VC - 31, так як група з чотирьох вказівників TU-31PTR фіксована в структурі мережі. Введення вказівника VC – 4 РОН утворює TU-31 у VC – 4 з довжиною послідовності 2349 байт.

І нарешті, створюється синхронний транспортний модуль STM1: вводиться вказівник AU-4 PTR і формується AU-4, за тим група адміністративних моделей STUG (1:1). Такий транспортний модуль довжиною 2430 байт (дев'ять фреймів по 270 байт) забезпечує швидкість передачі 155,52 Мбіт/с з частотою повертання 8 кГц.

Збільшення швидкості передачі передбачалося коротко до швидкості STM 1 з коефіцієнтами 1,4,8,12,16. Дві рівні SDH - ієрархій:

STM 1 - 155,52 Мбіт/с;

STM 4 – 622,08 Мбіт/с – було зафіксовано у стандарті.

### **1.3. Постановка завдання**

Метою проєкту є поліпшення якості та номенклатури (xDSL-з'єднання точка-точка, крім доступу до Інтернету, сервера з різним контентом і високою швидкістю доступу) послуг передавання даних, збільшення кількості під'єднаних xDSL-

користувачів, зокрема трафіку і доходів. Збільшення вузлів мережі передавання даних, що призведе до зменшення відстані до користувача, отже, і якості мережі та кількості абонентів. Після виходу на проєктні показники планується залучити додатково близько 30% відповідного ринку.

Наразі ATM DSLAM ДКП встановлено на АТС 32 (60 портів xDSL), 54 (30 портів xDSL) і 47,53,55 (16 портів xDSL).

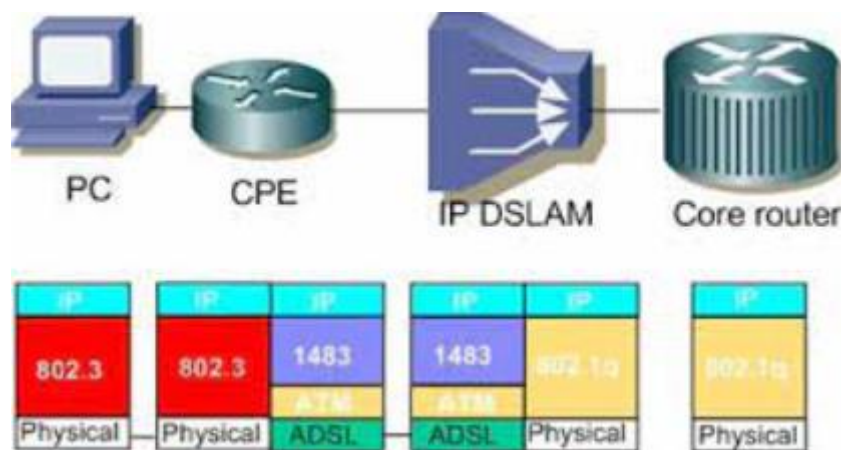


Рис. 1.2. Стек протоколів у мережі Metro за рекомендацією RFC 1483

З появою нових і дешевших технологій, що надають xDSL доступ до мережі Internet ("MetroEthernet", PDH та ін.), подальший розвиток мережі передавання інформації, що використовує ATM транспортне середовище, економічно не вигідний.

Передовою технологією для побудови операторських мереж є Multiprotocol Label Switching (MPLS), бо є найефективнішою архітектурою для передавання IP-трафіку. Для передавання інформації мережею MPLS використовується техніка комутація пакетів за мітками. На вході в MPLS пакети отримують мітки, що визначають маршрути їхнього проходження, а на виході - утилізуються. Усередині мережі підтримується тільки комутація за мітками, що забезпечує розв'язання головного завдання - швидкого передавання пакетів [1].

Крім цього, MPLS підтримує й інші додаткові сервіси: Traffic Engineering (TE), QoS, VPN, EoMPLS і AToM. Пристрій, що підтримує MPLS, на даному етапі побудови Metro Ethernet мережі не використовується тому, що побудова мережі MPLS на сьогоднішній день вимагає великих капітальних витрат, як-от:

- заміна мідного кабелю на оптичний кабель до абонента;
- придбання більш дорогого обладнання OLT, ONU тощо.

В умовах міста не цілком задоволений попит з боку юридичних і фізичних осіб на доступ до Інтернету і на передачу інформацій точка-точка (з'єднання віддалених офісів) [1-2].

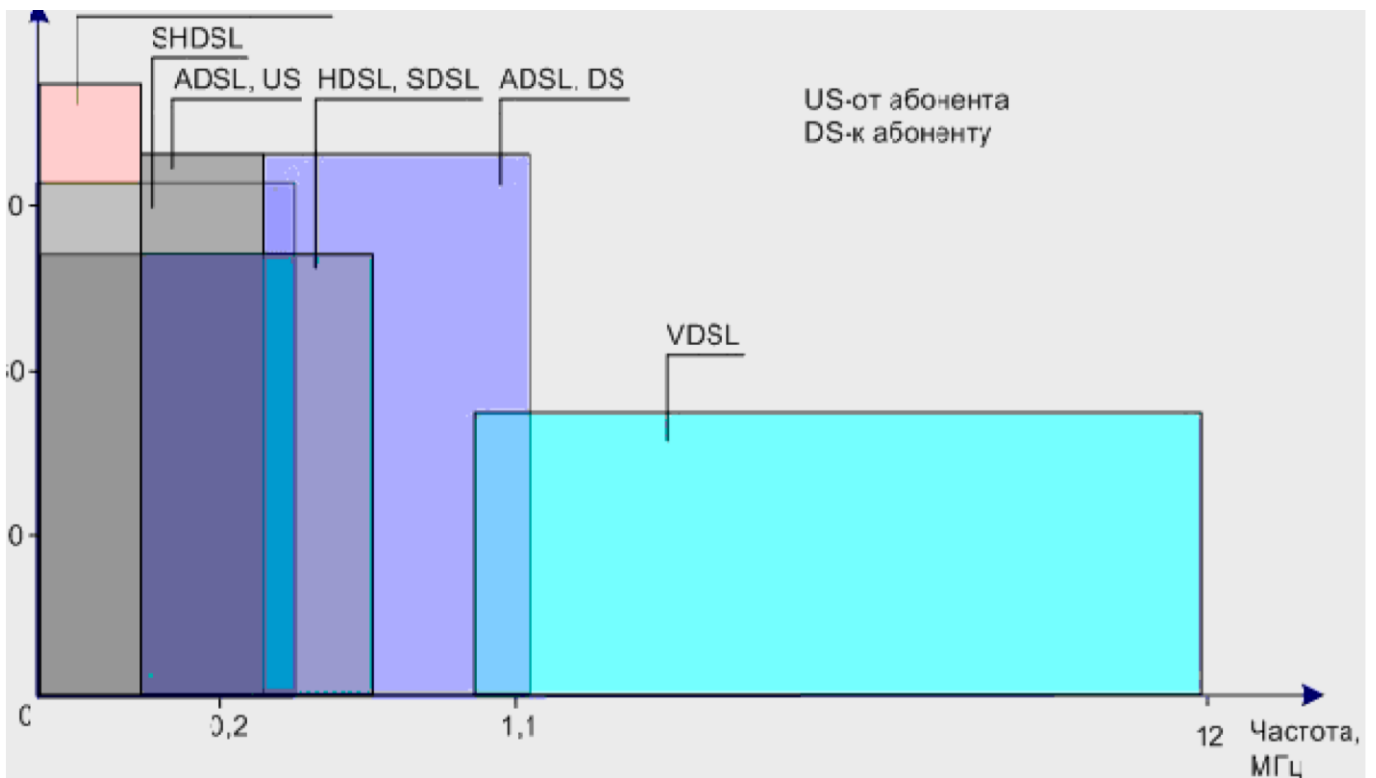


Рис. 1.3. xDSL технології та частоти, які вони використовують

Технологію xDSL (цифрова абонентська лінія) застосовують для надання послуг, що вимагають асиметричного передавання інформації, наприклад, відео за запитом, де потрібно передавати величезний потік інформації користувачеві, а від користувача передають найменший обсяг даних [3].

У технології xDSL використовується метод поділу смуги пропускання мідної телефонної лінії на кілька частотних смуг (також званих несучими). Це дає можливість одночасно передавати кілька сигналів по одній лінії. Під час використання технології xDSL різні несучі одночасно переносять різні частини переданої інформації. Цей процес називається частотним ущільненням лінії зв'язку (Frequency Division



Multiplexing - FDM). Під час FDM один діапазон виділяється для передавання "висхідного" потоку інформації, а інший діапазон для "низхідного" потоку інформації. Діапазон "висхідного" потоку ділиться на один або кілька високошвидкісних каналів і один або кілька низькошвидкісних каналів передавання інформації. Діапазон "висхідного" потоку теж ділиться на один або кілька низькошвидкісних каналів передачі інформацій. Крім того, може використовуватися технологія ехокомпенсації (Echo Cancellation), у якій використовуються діапазони "висхідного" і "низхідного" потоків перекриваються і розділяються за допомогою місцевої ехокомпенсації [2].

Фактори, що впливають на швидкість передавання інформації, - це стан користувацької лінії (тобто діаметр дротів, наявність кабельних відводів тощо) і її протяжність. При збільшенні довжини лінії і зростанні частоти сигналу, загасання сигналу в лінії збільшується і зменшується зі збільшенням діаметра дроту. Практично функціональною межею для технології xDSL є абонентська лінія завдовжки 3,5 - 5,5 км за товщини дротів 0,5 мм. xDSL дає швидкість "спадного" потоку інформації в межах від 1,5 Мбіт/с до 8 Мбіт/с і швидкість "висхідного" потоку інформації від 640 Кбіт/с до 1,5 Мбіт/с.

Технологія xDSL дає можливість повною мірою використовувати ресурси лінії. У звичайному телефонному зв'язку використовується близько однієї соті пропускної здатності телефонної лінії. Технологія xDSL дає змогу усунути цей "недолік" і використовує 99 відсотків, що залишилися, для високошвидкісного передавання інформації. При цьому для різних функцій використовуються різні смуги частот. Для телефонного (голосового) зв'язку застосовуються низькі частоти всієї смуги пропускання лінії (до 4 кГц), а вся інша смуга застосовується для високошвидкісного передавання інформації [1].

Технологія xDSL дає змогу одночасно передавати інформацію і говорити телефоном. Технологію xDSL можна застосовувати в режимі реального часу з необхідністю передавати якісний відеосигнал. Це організація відеоконференцій, навчання на відстані та відео за запитом.

Технологія SHDSL (стандарт G.991.2) забезпечує симетричну дуплексну передачу даних на швидкостях від 192 Кб/с до 2,32 Мб/с по звичайній мідній лінії зв'язку.

Робота по двох парах у симетричному режимі зі швидкістю від 384 Кб/с до 4.6 Мб/с. Для організації доступу за SHDSL технологією необхідний прямий дріт (фізична дво-провідна лінія). SHDSL не може зберегти телефонний канал, нова Voice-over-DSL техніка застосовується для передачі оцифрованого голосу. Швидкість доступу при підключенні по SHDSL визначається технічними характеристиками, протяжністю конкретної лінії зв'язку, що з'єднує абонента з провайдером, і конкретною маркою SHDSL модему. В основу G.SHDSL було покладено основні ідеї HDSL2, які отримали подальший розвиток. Було поставлено завдання, застосовуючи методи лінійного кодування і технологію модуляції HDSL2, знизити взаємний вплив на сусідні лінії xDSL під час швидкостей передавання вище 784 Кбіт/с. Оскільки нова система застосовує ефективніший лінійний код порівняно з 2B1Q, то за будь-якої швидкості сигнал G.SHDSL займає вузьку смугу частот, ніж відповідний тій самій швидкості сигнал 2B1Q. Тому перешкоди від систем G.SHDSL на інші системи xDSL мають найменшу потужність порівняно з перешкодами, створюваними HDSL типу 2B1Q. Спектральна щільність сигналу G.SHDSL має форму, що забезпечує його ідеальну спектральну сумісність із сигналами xDSL [2].

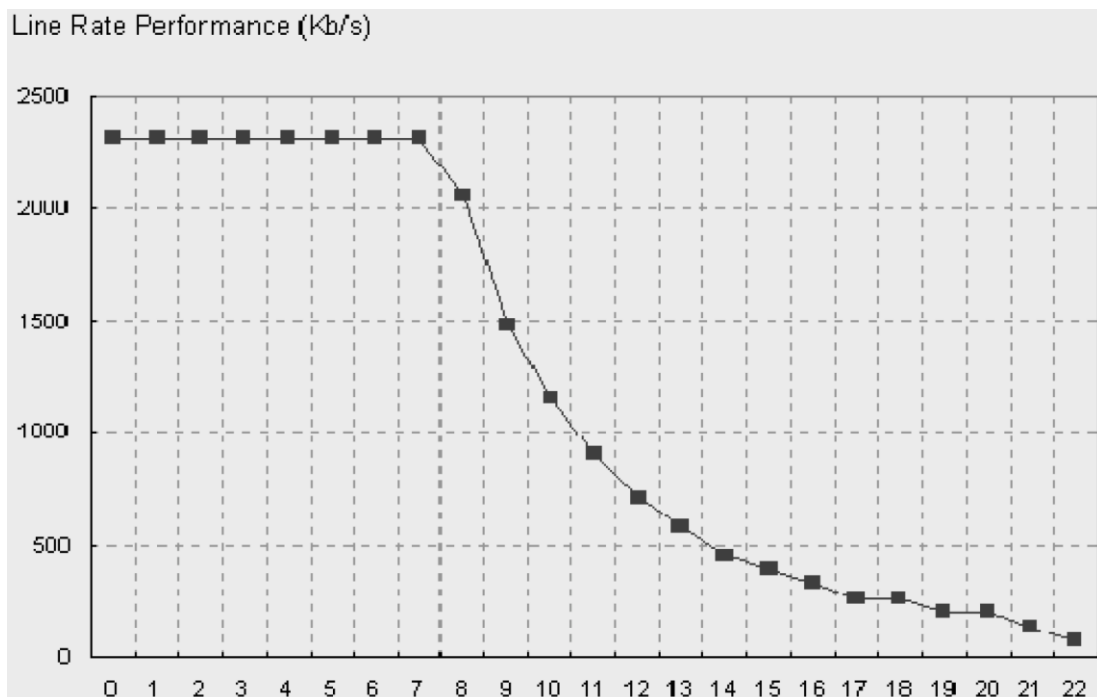


Рис. 1.4. Залежність швидкості передавання даних від відстані для SHDSL

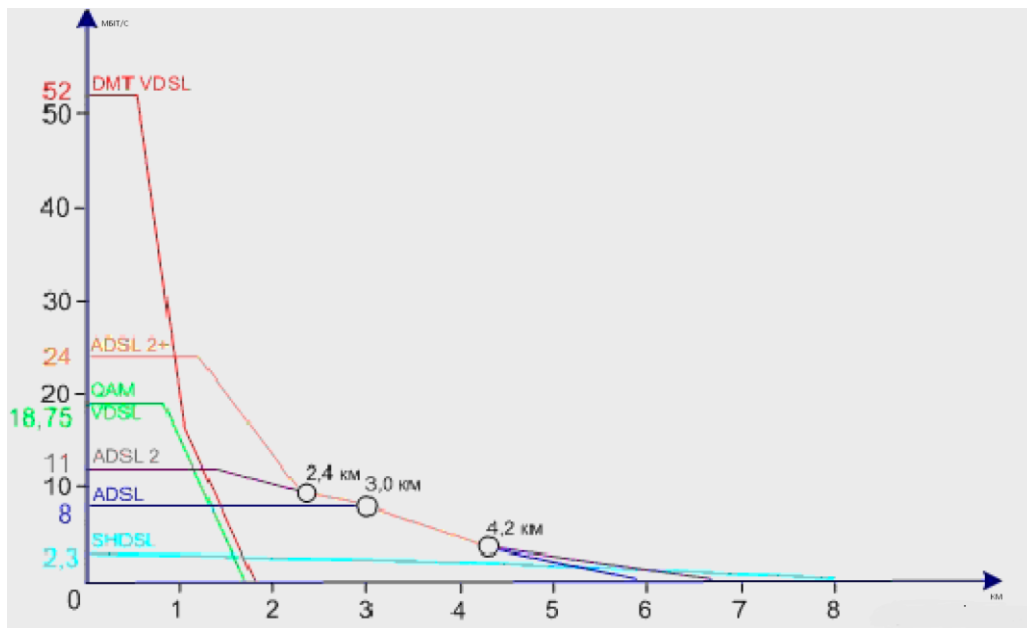


Рис. 1.5. Залежність швидкості передачі даних від відстані для xDSL

Технологія SHDSL максимально ефективно розв'язує завдання, які вимагають передавання однакових за обсягом потоків в обидва боки [3]:

- з'єднання віддалених точок ЛОМ-ЛОМ;
- підключення установчих АТС до мережі загального користування;
- підключення до мереж Інтернет, IP/Frame Relay/ATM;
- віддалений доступ до мережі підприємства.

Найбільш затребуваними рішеннями в корпоративному секторі є:

- підключення офісу до мережі Інтернет;
- передача даних із виходом у мережу Інтернет із можливістю одночасної організації до чотирьох аналогових телефонних каналів;
- передача даних із виходом у мережу Інтернет у потоці Е1, цифрова телефонія (від 1 до 30 телефонних ліній).

Реалізація проєкту принесе такі переваги:

- створення високошвидкісної міської магістралі передавання інформації Gigabit Ethernet з пропускнуною спроможністю 1-10 Гбіт/с;
- наближення високошвидкісних технологій останньої милі (xDSL) до користувачів;
- використовувати наявну інфраструктуру телекомунікаційного провайдера;

- охоплення зоною досяжності xDSL більшої частини міста;
- значна економія коштів порівняно з альтернативними рішеннями;
- швидкість впровадження;
- можливість розбиття проекту на етапи;
- наявність клієнтської бази з високим потенціалом;
- швидка окупність;
- при цьому є можливість передбачити ефективне сполучення мережі з МСПД,

що використовує технологію IP/MPLS.

Головна мета полягає в організації на наявних у кільці, магістралей GIGABIT ETHERNET. На вузлах магістралі розміщуються платформи широкосмугового доступу xDSL. Магістраль застосовує пару волокон у ВОЛЗ кільці і ETHERNET комутатори CISCO CATALYST ME-C3750-24TE-M як пристрої доступу до оптики. Комутатори розміщуються в точках розриву ВОЛЗ - на кожній вузловій станції - а саме на АТС32,45,46/54,47,53,55 і RLSM 500/502, 505/507, 515/517, 526/528, 575, біля оптичних кросів. У тих самих шафах встановлюється 4 місцеве шасі DSLAM Core Cess 6804 SPC, оснащене 24-портовими лінійними картами xDSL і G.SHDSL, і сплітерами. Таким чином платформи доступу об'єднані в три кільцевих сегменти. У вузлах сегментів (АТС32, 54/46, 45/570) використовуються метро комутатори CATALYST ME C3750-24TE-M, причому на АТС32 їхня пара становить резервований стек. Решта платформ будуються на базі таких самих, але одиночних комутаторів зі станційним живленням. Як термінуючий маршрутизатор використовується CISCO 7206 VXRNPE-G1. До складу обладнання входять керуючі програмно-апаратні комплекси CISCO SECURE ACS, SESM і SSG, WORKS, що включають комп'ютери PC і SUN.

Проект ставить такі завдання:

- створення універсального транспортного середовища шляхом встановлення платформ широкосмугового доступу на вузлах мережі;
- об'єднання платформ у єдину мережу на основі ВОЛЗ;
- організація термінації трафіку, управління, моніторингу та білінгу;
- організація віртуальних підмереж VLAN (802.1Q).

Клієнт має 3 офіси: офіс 1 підключений до S5624P вузла АТС А; офіс 2 підключений до S5624P вузла АТС В; офіс 3 підключений до MA5303 вузла АТС С.

Для організації послуги оператором виділяється VLAN 150:

- організація шлюзу в мережу ДКП зображена на рисунку 1.6.

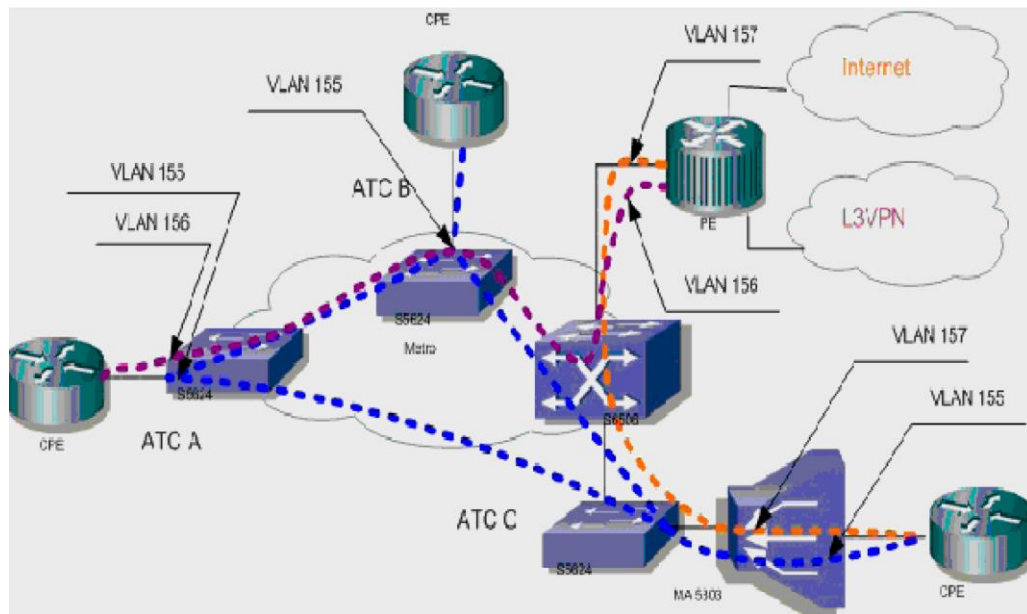


Рис. 1.6. Організація існуючої мережі зі шлюзом ДКП

## РОЗДІЛ 2

### ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ МУЛЬТИСЕРВІСНИХ МЕРЕЖ

#### 2.1. Мультисервісні мережі. Архітектура мультисервісних мереж

Мультисервісна мережа - це універсальне багатоцільове середовище, призначене для передавання мовлення, зображення і даних із застосуванням технології комутації пакетів. Мультисервісна мережа на базі IP вирізняється ступенем надійності, характерним для телефонних мереж, і забезпечує низьку вартість передавання.

Головне завдання мультисервісних мереж полягає в забезпеченні роботи різно-рідних інформаційних і телекомунікаційних систем і застосунків у єдиному транспортному середовищі, коли під час передавання звичайного трафіку (даних) і трафіку іншої інформації (мовлення, відео та ін.) використовується єдина інфраструктура.

Головна ідея і основна мета мультисервісних мереж полягає в доступності будь-яких сервісів у будь-який час, у будь-якому місці. Така мережа відкриває безліч можливостей побудови різноманітних накладених сервісів поверх універсального транспортного середовища - від пакетної телефонії до інтерактивного телебачення і веб-служб. Мережа нового покоління вирізняється універсальністю обслуговування різних застосунків, незалежністю від технологій послуг зв'язку та гнучкістю отримання набору, обсягу та якості послуг, повною прозорістю взаємовідносин між постачальником послуг і користувачами [9].

Інтеграція трафіку різних даних і мови дає змогу домогтися якісного підвищення ефективності інформаційної підтримки управління підприємством, водночас використання інтегрованого транспортного середовища знижує витрати на створення й експлуатацію мережі. Мультисервісна мережа використовує єдиний канал для передавання різних даних, зменшує розмаїття типів обладнання, застосовує єдині стандарти, технології та централізовано керує комунікаційним середовищем [10].

Архітектурну структуру мультисервісної мережі можна представити у вигляді 3 основних рівнів зображено на рисунку 2.1 [7]:

- транспортного рівня;
- рівня управління комутацією і передачею даних;
- рівня послуг і управління послугами.

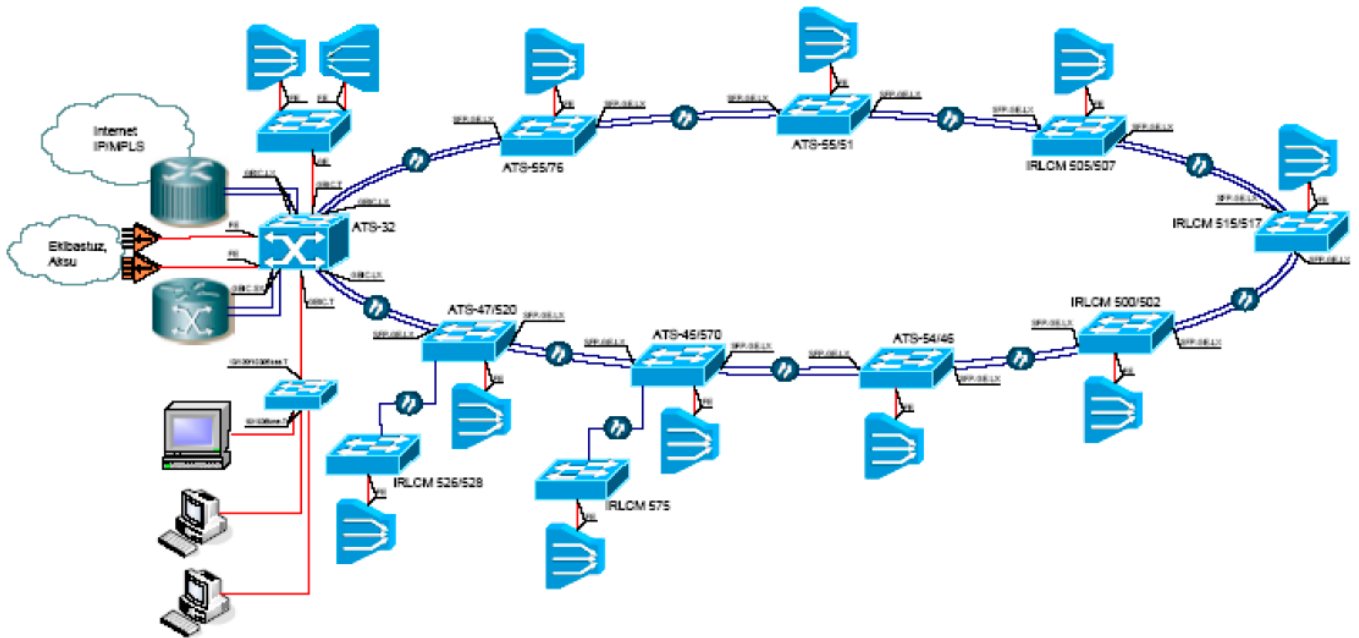


Рис. 2.1. Функціональна схема мультисервісної мережі

Завданням транспортного рівня є комутація і "прозоре" передавання інформації абонента.

Рівень управління послугами містить функції управління логікою послуг і додатків та являє собою розподілене обчислювальне середовище, яке забезпечує:

- надання інфокомунікаційних послуг;
- управління послугами;
- створення та впровадження нових послуг;
- взаємодію різних послуг.

Трирівнева модель мультисервісної мережі показана на рисунку 2.2.

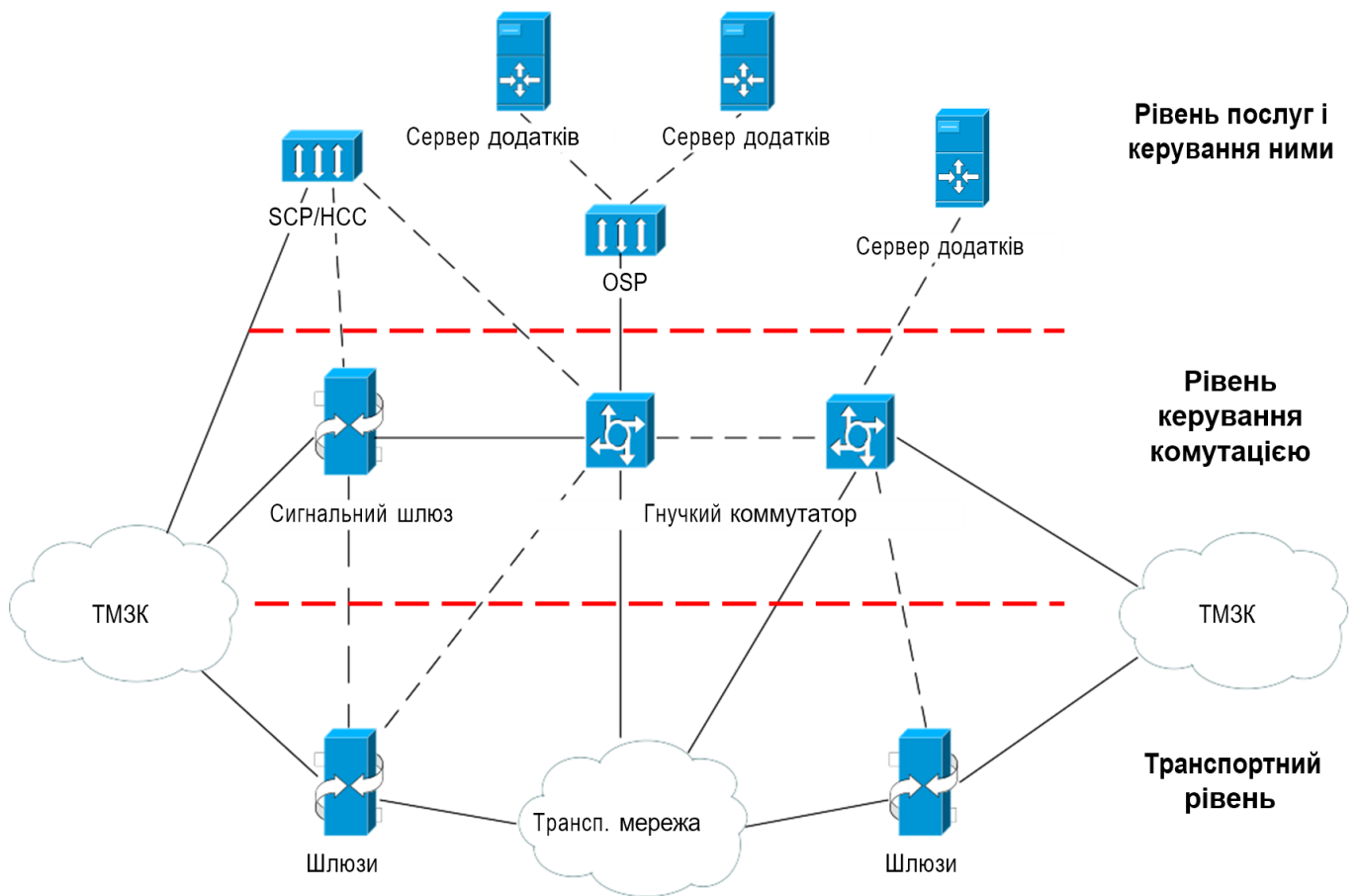


Рис. 2.2. Трирівнева модель мультисервісної мережі

Особливість мережі - це відкриті інтерфейси між транспортним рівнем і рівнем управління комутацією. Порівняно з класичною АТС це все одно, що розділити обладнання станції на функціональні блоки, коли один блок реалізує функції з оброблення сигналізації, маршрутизації викликів, збирання статичної інформації тощо, а другий блок (або група блоків) забезпечує комутацію несучих каналів. При цьому взаємодія між блоками реалізується за допомогою стандартизованих протоколів [11].

Транспортний рівень мережі будується на базі пакетних технологій передачі даних. Основні застосовувані технології АТМ і ІР. В основу транспортного рівня мультисервісної мережі входять наявні мережі АТМ або ІР, тобто мережа може створюватися як накладена на наявні транспортні пакетні мережі.

Завданням рівня управління комутацією і передачею є управління встановленням з'єднання в мережі.



Встановлення з'єднання проводиться на рівні елементів транспортної мережі під зовнішнім управлінням пристрою гнучкого комутатора. Винятком є АТС з функціями МГС, які самі виконують комутацію на рівні елемента транспортної мережі. У разі використання в мережі декількох гнучких комутаторів вони взаємодіють за міжвузловими протоколами (як правило, сімейство SIP-T) і забезпечують спільне управління встановленням з'єднання.

Гнучкий комутатор (SoftSwitch) - це основний компонент мультисервісної мережі, що здійснює керування викликами, керування доступом до медіашлюзів, розподіл ресурсів, оброблення протоколів, маршрутизацію, автентифікацію та облік вартості послуг, а також надання користувачам основних мовленнєвих послуг зв'язку, мобільних послуг, послуг мультимедіа, а також інтерфейсів програмування додатків.

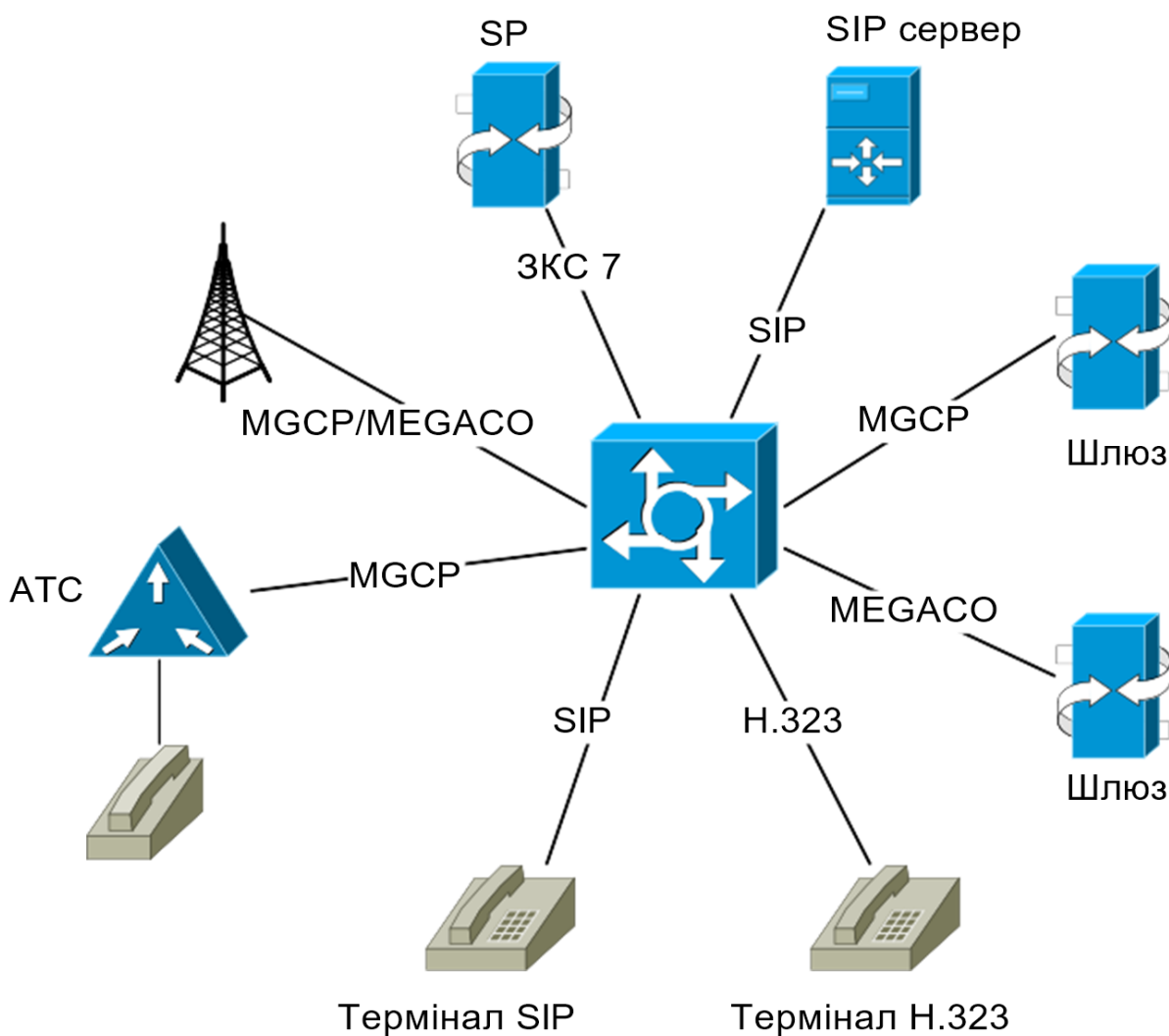


Рис. 2.3. Мережеве оточення SoftSwitch

Гнучкий комутатор повинен здійснювати:

- обробку всіх видів сигналізації, що використовуються в його домені;
- зберігання та управління абонентськими даними користувачів, що підключаються до його домену безпосередньо або через обладнання шлюзів доступу;
- взаємодію із серверами додатків для надання розширеного списку послуг користувачам мережі;

Під час встановлення мережі обладнання гнучкого комутатора здійснює сигнальний обмін функціональними елементами рівня управління комутацією. Для передачі інформації сигналізації мережі СТОП через пакетну мережу використовуються спеціальні протоколи.

На підставі аналізу прийнятої інформації та рішення про подальшу маршрутизацію виклику обладнання гнучкого комутатора, використовуючи відповідні протоколи, здійснює сигнальний обмін зі встановлення з'єднання з мережевим елементом призначення та керує з використанням протоколу H.248 (для IP комутації) або ВІСС (для АТМ комутації) встановленням з'єднання для передавання інформації користувача. При цьому потоки користувацької інформації не проходять через гнучкий комутатор, а замикаються на рівні транспортної мережі.

Термінальне обладнання пакетної мережі взаємодіє з обладнанням гнучкого комутатора з використанням протоколів SIP і H.323. Користувацька інформація від термінального обладнання надходить на рівень вузлів доступу пакетної мережі і далі маршрутизується під управлінням гнучкого комутатора.

Основною послугою, що надається як у класичних мережах зв'язку, так і в мультисервісній мережі, є передача інформації між користувачами мережі. Використання пакетних технологій на рівні транспортної мережі дає змогу забезпечити єдині алгоритми доставки інформації для різних видів зв'язку.

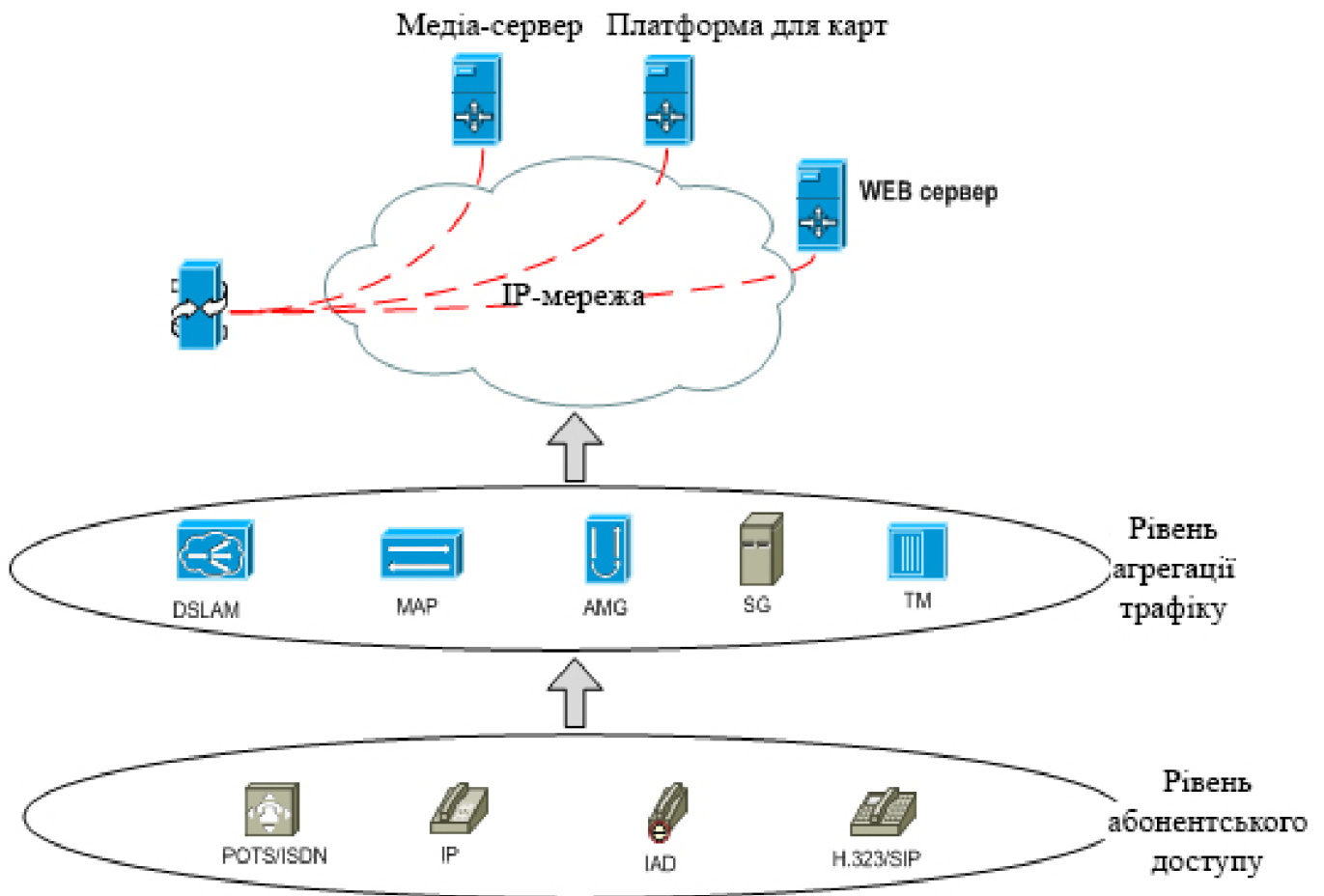


Рис. 2.4. Схема надання послуг у мультисервісній мережі

Використання пакетних технологій дає змогу забезпечувати спільне надання розширеного переліку послуг незалежно від типу доступу, використовуваного користувачем.

Для доступу абонентів до послуг мультисервісної мережі використовуються:

- інтегровані мережі доступу, під'єднані до кінцевих вузлів мультисервісної мережі, які забезпечують підключення користувачів як до мультисервісної мережі, так і до традиційних мереж (наприклад СТОП);

- традиційні мережі (СТОП, СДОП, СПС), користувачі яких отримують доступ до мультисервісної мережі через вузли, підключені до шлюзів (Media Gateway).

На СТОП для доступу використовують користувацьку ділянку, для збільшення пропускної здатності якої застосовують технологію xDSL, а на мережах рухомого зв'язку застосовують технологію 3G-4G.

Основні переваги мультисервісної мережі [9-11]:

- висока масштабованість;
- модульне розширення;
- підтримка обладнання різних виробників;
- швидка розробка і впровадження нових видів послуг;
- додавання нових послуг і елементів мережі незалежно від типу транспортної мережі та методу доступу;
- низька вартість експлуатації за рахунок ефективного використання мережевих ресурсів.

## **2.2. Стандарт Ethernet (10 BASE-T; IEEE 802.3)**

Надалі при вдосконаленні способів і методів доступу, телекомунікаційні компанії прийшли до нового стандарту, який є черговим кроком у розвитку технологій локальних обчислювальних мереж. Цей стандарт називається Ethernet. Мережі Ethernet дають змогу організувати спільну роботу та використання ресурсів, забезпечити універсальність передавання даних і гнучкість адміністрування. Основні обмеження мережі Ethernet: максимальна довжина лінії без додаткового обладнання - кілька десятків метрів, кількість машин у мережі - у межах двохсот - тому в більш глобальних масштабах стандарт Ethernet не розглядався. Революцію на ринку телекомунікацій зробило широке впровадження волоконно-оптичних технологій. Згідно зі стандартом, сигнал по оптоволокну передається без посилення, а отже, і витрат на додаткове обладнання в межах 2 км, але сучасні технології дали змогу збільшити цю відстань до 100 і більше кілометрів. Інститут інженерів з електротехніки та електроніки (Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)) - професійна організація, яка визначає стандарти мереж. Стандарти IEEE є переважними та найбільш відомими стандартами локальних мереж у світі. Робоча група з її членів (що відносяться до IEEE 802.3) визначила нові стандарти для мереж Ethernet у середині 1980-их, для визначення Ethernet як мережі для загального користування, цей стандарт був названий Ethernet 802.3. Цей стандарт заснований на множинному доступі з контролем несучої

і виявленням конфліктів (Carrier Sense Multiple Access Collision Detect (CSMA/CD)). Ethernet 802.3 описує фізичний рівень і протокол управління доступом до передавального середовища (Media Access Control (MAC)), який є частиною каналного рівня [5].

### **2.3. Технологія Fast Ethernet**

Технологія Fast Ethernet є еволюційним розвитком класичної технології Ethernet. Fast Ethernet називається 100BaseT. Це пояснюється тим, що: 100BaseT є розширенням стандарту 10BaseT з пропускною спроможністю від 10 М біт/с до 100 Мбіт/с. Стандарт 100BaseT містить у собі протокол обробки множинного доступу з розпізнаванням несучої та виявленням конфліктів CSMA/CD, який використовується і в 10BaseT. Крім цього, Fast Ethernet може працювати на кабелях декількох типів, зокрема й на кручений парі [5-6].

Крім збереження протоколу CSMA/CD, іншим важливим рішенням було спроектувати 100BaseT таким чином, щоб у ньому можна було застосовувати кабелі різних типів - як ті, що використовуються в старих версіях Ethernet, так і в нових [6].

Як було зазначено раніше, робоча станція, що передає інформацію, повинна прослуховувати мережу протягом часу, що дозволяє переконатися в тому, що інформація дійшла до станції призначення. У мережі Ethernet з пропускною спроможністю 10 Мбіт/с (наприклад, 10Base5) проміжок часу, необхідний робочій станції для прослуховування мережі на предмет конфлікту, визначається відстанню, яку 512-бітний кадр (розмір кадру задано в стандарті Ethernet) пройде за час обробки цього кадру на робочій станції. Для мережі Ethernet із пропускною спроможністю 10 Мбіт/с ця відстань дорівнює 2500 метрам. Максимальна довжина сегмента в мережі 100BaseT становить 250 метрів, тобто всього 10% від теоретичної межі протяжності мережі Ethernet.

## 2.4. Побудова мережі з використанням Gigabit Ethernet

Gigabit Ethernet застосовується насамперед у системоутворювальних частинах локальних мереж, тобто для з'єднання потужних серверів із комутаторами та комутаторів один з одним (див. Рис. 2.5) [6].

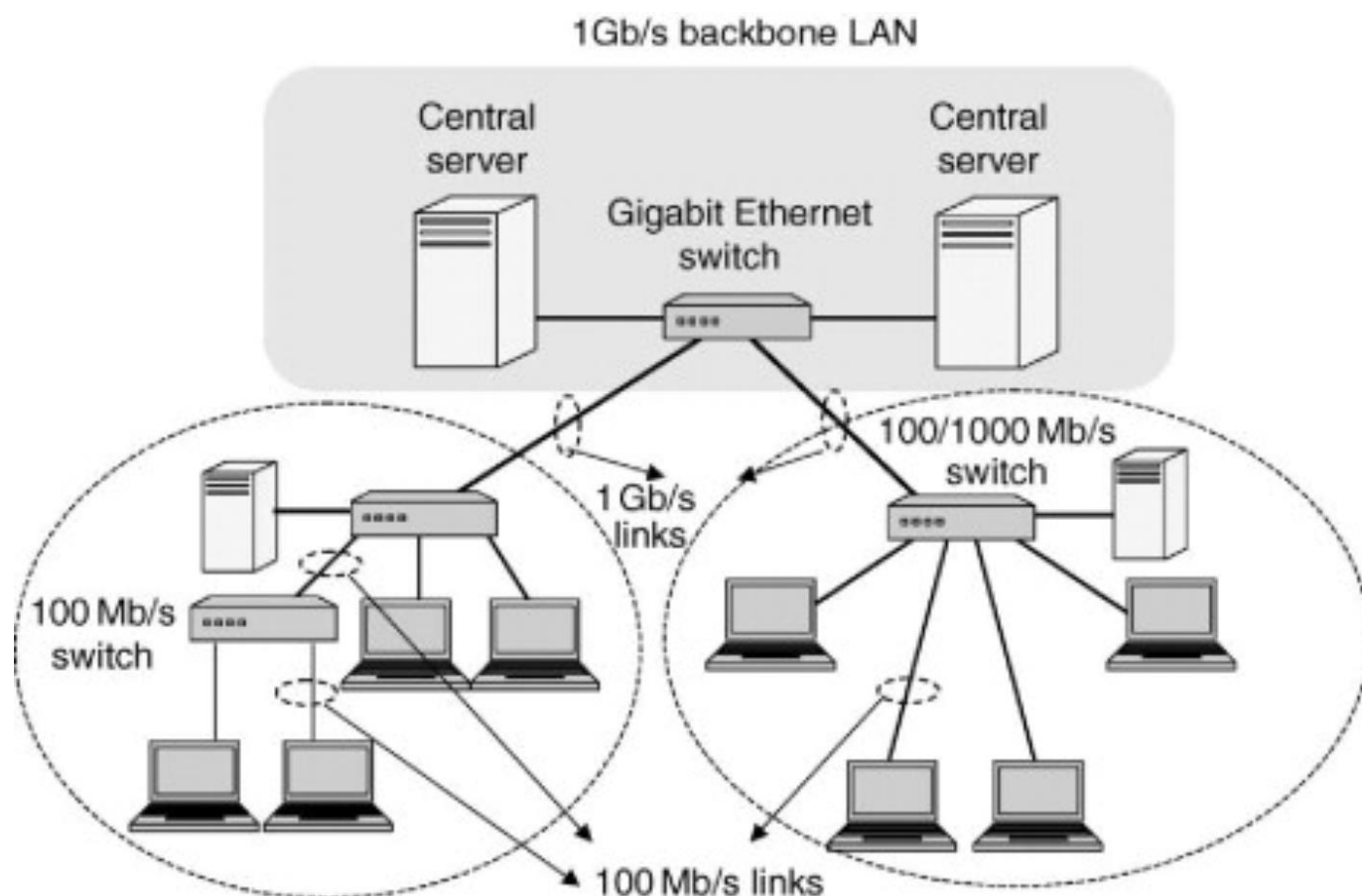


Рис. 2.5. Застосування Gigabit Ethernet

Насамперед Gigabit Ethernet застосовуватиметься для з'єднання комутаторів і підключення серверів.

Для деяких комутаторів випускаються модулі, які дають змогу забезпечити їхнє з'єднання з Gigabit Ethernet. У нових моделей є один або кілька вбудованих портів 1000Base-X. Це дає можливість або шляхом заміни мережевої карти на сервері та встановлення додаткового модуля в комутаторі різко підвищити продуктивність каналу, що зв'язує сервер із мережею, або після встановлення додаткових модулів у ко-

мутатори підвищити продуктивність головної мережевої магістралі. Наявність комутаторів із декількома портами Gigabit Ethernet дає змогу комбінувати обидва способи, підвищуючи продуктивність.

1000Base-X - модернізація локальної магістралі Fast Ethernet і територіальної магістралі FDDI. В останньому випадку, наприклад, усе, що потрібно зробити, - це встановити нові інтерфейсні модулі в маршрутизатори, комутатори або концентратори. І нарешті, високопродуктивні робочі станції можна буде підключати до концентраторів (якщо такі з'являться), буферних розподільників і комутаторів.

**Протоколи TCP/IP.** Базу транспортних засобів стека протоколів TCP/IP становить протокол міжмережевої взаємодії - Internet Protocol (IP). До головних функцій протоколу IP входять:

- перенесення між мережами різних видів адресних даних в уніфікованій формі,
- збирання і розбирання пакетів під час передавання між мережами з різними максимальними значеннями довжини пакета.

Пакет IP складається із заголовка і поля даних. Заголовок пакета має поля [6]:

- Поле Номер версії (VERS) показує версію протоколу IP. В даний час повсюдно використовується версія 4 і готується повний перехід на версію 6, яка називається також IPng (IP next generation).

- Поле Довжина заголовка (HLEN) пакета IP займає 4 біти і показує значення довжини заголовка, що вимірюється в 32-бітових словах. Зазвичай заголовок має довжину 20 байт (п'ять 32-бітових слів), але в разі збільшення обсягу службових даних ця довжина може збільшитися завдяки використанню додаткових байт у полі Резерв (IP OPTIONS).

- Поле Тип сервісу (SERVICE TYPE) займає 1 байт і задає пріоритетність пакета і вид критерію вибору маршруту. Перші три біти цього поля формують підполе пріоритету пакета (PRECEDENCE). Пріоритет може мати значення від 0 (нормальний пакет) до 7 (пакет керівної інформації). Маршрутизатори та комп'ютери можуть брати до уваги пріоритет пакета і обробляти найважливіші пакети в першу чергу. Поле Тип

сервісу містить також три біти, які визначають критерій вибору маршруту. Установлений біт D (delay) означає, що маршрут потрібно обирати для мінімізації затримки доставки цього пакета, біт T - для максимізації пропускної здатності, а біт R - для максимізації надійності доставки.

- Поле Загальна довжина (TOTAL LENGTH) займає 2 байти і показує загальну довжину пакета з урахуванням заголовка і поля даних.

- Поле Ідентифікатор пакета (IDENTIFICATION) займає 2 байти і застосовується для розпізнавання пакетів, що формувалися шляхом фрагментації вихідного пакета. Усі фрагменти повинні мати однакове значення цього поля.

- Поле Прапори (FLAGS) займає 3 біти, воно показує на можливість фрагментації пакета (встановлений біт Do not Fragment - DF - забороняє маршрутизаторові фрагментувати цей пакет), а також на те, чи є цей пакет проміжним або останнім фрагментом початкового пакета (встановлений біт More Fragments - MF - говорить про те, що пакет переносить проміжний фрагмент).

- Поле Зсув фрагмента (FRAGMENT OFFSET) займає 13 біт, використовується для вказівки в байтах зсуву поля даних цього пакета від початку загального поля даних початкового пакета, що зазнав фрагментації. Застосовується для збирання/розбирання фрагментів пакетів під час передавання між мережами з різними величинами максимальної довжини пакета.

- Поле Час життя (TIME TO LIVE) займає 1 байт і вказує граничний термін, протягом якого пакет може переміщатися мережею. Час життя цього пакета вимірюється в секундах і задається джерелом передавання за допомогою IP-протоколу. На шлюзах і в інших вузлах мережі після закінчення кожної секунди з поточного часу життя віднімається одиниця; одиниця віднімається також під час кожної транзитної передачі (навіть якщо не минула секунда). Після закінчення часу життя пакет анулюється.

- Ідентифікатор Протоколу верхнього рівня (PROTOCOL) займає 1 байт і показує, якому протоколу верхнього рівня належить пакет (наприклад, це можуть бути протоколи TCP, UDP або RIP).



- Контрольна сума (HEADER CHECKSUM) займає 2 байти, розраховується по всьому заголовку.

- Поля Адреса джерела (SOURCE IP ADDRESS) і Адреса призначення (DESTINATION IP ADDRESS) мають однакову довжину - 32 біти, і однакову структуру.

- Поле Резерв (IP OPTIONS) є необов'язковим і застосовується тільки під час налагодження мережі. Це поле містить кілька підполів, кожне з яких може бути одного з восьми зумовлених типів. У цих підполях можна вказувати точний маршрут проходження маршрутизаторів, реєструвати маршрутизатори, які проходять пакетом, поміщати дані системи безпеки і тимчасові позначки. Оскільки кількість підполів може бути довільною, то наприкінці поля Резерв має бути додано кілька байт для вирівнювання заголовка пакета на 32-бітному кордоні.

Максимальна довжина поля даних пакета обмежена розрядністю поля, яка визначає цю величину, і становить 65535 байт, але під час передавання мережами різного типу довжину пакета обирають з урахуванням максимальної довжини пакета протоколу нижнього рівня, що несе IP-пакети. Якщо це кадри Ethernet, то вибираються пакети з максимальною довжиною в 1500 байтів, що вміщаються в поле даних кадру Ethernet.

У стеку протоколів TCP/IP протокол TCP (Transmission Control Protocol) працює так само, як і протокол UDP, на транспортному рівні. Він забезпечує надійне транспортування даних між прикладними процесами шляхом встановлення логічного з'єднання.

Одиниця даних протоколу TCP - це сегмент. Інформація, що надходить до протоколу TCP у рамках логічного з'єднання від протоколів найвищого рівня, приймається протоколом TCP як неструктурований потік байт. Дані, що надходять, буферизуються засобами TCP. Для передачі на мережевий рівень з буфера "вирізається" деяка безперервна частина даних, яка називається сегментом.

У протоколі TCP передбачено випадок, коли додаток звертається із запитом на термінову передачу інформації (біт PSH у запиті встановлений в 1). У такому разі

протокол ТСР, не чекаючи заповнення буфера до рівня розміру сегмента, негайно передає зазначені дані в мережу. Такі дані передаються поза потоком - Out of Band [5].

Не всі сегменти, надіслані через з'єднання, будуть одного й того самого розміру, але обидва учасники з'єднання мають домовитися про максимальний розмір сегмента, який вони використовують. Цей розмір вибирається так, щоб під час пакування сегмента в ІР-пакет він поміщався туди повністю, тобто максимальний розмір сегмента не повинен перевищувати максимального розміру поля даних ІР-пакета. Інакше довелося б виконувати фрагментацію, тобто ділити сегмент на кілька частин, щоб він вмістився в ІР-пакет.

Такі ж проблеми вирішуються і на мережевому рівні. Щоб уникнути фрагментації, необхідно вибрати відповідний максимальний розмір ІР-пакета. Але при цьому потрібно врахувати максимальні розміри поля даних кадрів (MTU) усіх протоколів канального рівня, що використовуються в мережі. Максимальний розмір сегмента не повинен перевершувати мінімальне значення на множині всіх MTU складової мережі.

У протоколі ТСР також, як і в UDP, для зв'язку з прикладними процесами використовуються порти. Номери портам присвоюють у такий самий спосіб: є стандартні, зарезервовані номери (наприклад, номер 21 закріплено за сервісом FTP, 23 - за Telnet), а мало відомі додатки користуються довільними локальними номерами.

Але в протоколі ТСР порти використовуються іншим способом. Для організації надійної передачі інформації передбачається встановлення логічного з'єднання між двома прикладними процесами. У рамках з'єднання здійснюється обов'язкове підтвердження правильності приймання для всіх переданих повідомлень, і за необхідності відбувається повторне передавання. З'єднання в ТСР дає можливість вести передачу інформації одночасно в обидві сторони, тобто повнодуплексну передачу.

З'єднання в протоколі ТСР ідентифікується парою повних адрес обох взаємодіючих процесів (кінцевих точок). Адреса кожної з кінцевих точок містить у собі ІР-адресу (номер мережі та номер комп'ютера) і номер порту. Одна кінцева точка може брати участь у кількох з'єднаннях.

Під час встановлення з'єднання одна зі сторін є ініціатором. Вона посилає запит до протоколу TCP на відкриття порту для передачі (active open).

Після відкриття порту протокол TCP на стороні процесу-ініціатора надсилає запит процесу, з яким потрібно встановити з'єднання.

Протокол TCP на приймальній стороні відкриває порт для приймання даних (passive open) і повертає квитанцію, що підтверджує приймання запиту.

Для того щоб передача могла вестися в обидві сторони, протокол на приймальній стороні також відкриває порт для передачі (active port) і також передає запит до протилежної сторони.

Сторона-ініціатор відкриває порт для прийому і повертає квитанцію. З'єднання вважається встановленим. Далі відбувається обмін інформацією в рамках цього з'єднання.

## **2.5. Метод доступу CSMA/CD**

У мережах Ethernet застосовується метод доступу до середовища передавання інформації, так званий методом колективного доступу з розпізнаванням несучої та виявленням колізій (Carrier-Sense-Multiply-Access With Collision Detection, CSMA/CD).

Цей метод застосовується тільки в мережах із загальною шиною (до яких належать і радіомережі, що породили цей метод). Усі комп'ютери цієї мережі мають прямий доступ до спільної шини, тому вона може використовуватися для передачі інформації між будь-якими двома вузлами мережі. Простота схеми підключення - це один із чинників, що визначили успіх стандарту Ethernet. Кабель, до якого підключені всі станції, працює в режимі колективного доступу (Multiply-Access, MA) [5].

Уся інформація, що передається мережею, поміщаються в кадри певної структури і забезпечуються унікальною адресою станції призначення. Потім кадр передається по кабелю. Усі станції, під'єднані до кабелю, можуть розпізнати факт передавання кадру, і та станція, що впізнає власну адресу в заголовках кадру, записує весь його вміст у свій внутрішній буфер, обробляє отриману інформацію та надсилає по

кабелю кадр-відповідь. Адресу станції-джерела також включено у вихідний кадр, тому станція-одержувач знає, кому слід посилати відповідь.

За такого підходу можлива ситуація, коли дві станції одночасно намагаються передати кадр інформації спільним кабелем. Для зменшення такої ситуації безпосередньо перед відправленням кадру передавальна станція слухає кабель (тобто приймає й аналізує електричні сигнали, що виникають на ньому), щоб виявити, чи не передається вже по кабелю кадр інформації від іншої станції. Якщо розпізнається несуча (Carrier-Sense, CS), то станція відкладає передачу свого кадру до закінчення чужого передавання, і тільки потім передає його знову. Але навіть за такого алгоритму дві станції одночасно можуть вирішити, що шиною наразі немає передавання, і почати одночасне передавання своїх кадрів. При цьому відбувається колізія, тому що вміст обох кадрів стикається на загальному кабелі, це призводить до спотворення інформації.

Щоб правильно обробити колізію, всі станції одночасно спостерігають за сигналами, що виникають на кабелі. Якщо передані і спостережувані сигнали розрізняються, то фіксується виявлення колізії (Collision Detection, CD). Для збільшення ймовірності негайного виявлення колізії всіма станціями мережі, колізію посилюють надсиланням у мережу станціями, які розпочали передачу своїх кадрів, спеціальної послідовності бітів, так званої Jam-послідовності.

Після виявлення колізії передавальна станція повинна припинити передачу і чекати протягом короткого випадкового інтервалу часу, а потім знову спробувати передати кадр.

З опису методу доступу випливає, що він має імовірнісний характер, і ймовірність успішного одержання у своє розпорядження спільного середовища залежить від завантаженості мережі, тобто від інтенсивності виникнення у станціях потреби передавання кадрів. Під час розроблення такого методу передбачалося, що швидкість передавання інформації в 10 Мб/с дуже висока порівняно з потребами комп'ютерів у взаємному обміні інформацією, тому завантаження мережі буде завжди невеликим. Це припущення часто справедливе і на сьогодні, але вже з'явилися додатки, які працюють у реальному масштабі часу з мультимедійною інформацією, для яких потрібні

більш високі швидкості передачі інформації. І тому поряд із класичним Ethernet'ом зростає потреба і в нових високошвидкісних технологіях.

Метод CSMA/CD визначає основні тимчасові та логічні співвідношення, що гарантують коректну роботу всіх станцій у мережі:

Між двома кадрами інформації, що послідовно передаються загальною шиною, повинна витримуватися пауза в 9.6 мкс; ця пауза необхідна для приведення у вихідний стан мережевих адаптерів вузлів, а також для запобігання монопольному захопленню середовища передавання інформації однією станцією.

У разі виявлення колізії (умови її виявлення залежать від застосовуваного фізичного середовища) станція видає в середовище спеціальну 32-х бітову послідовність (Jam-послідовність), що підсилює явище колізії для надійнішого розпізнавання її всіма вузлами мережі.

При виявленні колізії кожен вузол, який передавав кадр і зіткнувся з колізією, після деякої затримки повторно передає свій кадр. Вузол робить максимально 16 спроб передавання цього кадру інформації, а після відмовляється від його передавання. Величина затримки вибирається як рівномірно розподілене випадкове число з інтервалу, довжина якого експоненціально зростає з кожною спробою. Такий алгоритм вибору величини затримки знижує ймовірність колізій і зменшує інтенсивність видачі кадрів у мережу під час її високого завантаження.

Точне виявлення колізій усіма станціями мережі - необхідна умова правильної роботи мережі Ethernet. Якщо будь-яка передавальна станція не виявить колізію і вирішить, що кадр інформації нею передано правильно, то цей кадр буде втрачено, тому що інформація кадру спотвориться через накладення сигналів під час колізії, його буде відкинуто приймальною станцією (найімовірніше через розбіжність контрольної суми). Зрозуміло, спотворена інформація буде повторно передана якимось протоколом верхнього рівня, наприклад, транспортним або прикладним, який працює зі встановленням з'єднання і нумерацією своїх повідомлень. Але повторна передача повідомлення протоколами верхніх рівнів відбувається набагато довше за часом (десятки секунд) порівняно з мікросекундними інтервалами, якими оперує протокол Ethernet.

Тому, якщо колізії не будуть надійно розпізнаватися вузлами мережі Ethernet, то це призведе до помітного зниження корисної пропускної здатності даної мережі.

Усі параметри протоколу Ethernet підібрані таким чином, щоб за нормальної роботи вузлів мережі колізії завжди чітко розпізнавалися. Саме для цього найменша довжина поля інформації кадру має бути не менше 46 байт (що разом зі службовими полями дає мінімальну довжину кадру в 72 байти або 576 біт). Довжину кабельної системи вибирають так, щоб за час передання кадру малої довжини сигнал колізії встиг поширитися до найвіддаленішого вузла мережі. Тому для швидкості передачі даних 10 Мб/с, що використовується в стандартах Ethernet, максимальна відстань між двома будь-якими вузлами мережі не повинна перевищувати 2500 метрів [6].

Зі збільшенням швидкості передачі кадрів, які мають місце в нових стандартах, що ґрунтуються на такому самому методі доступу CSMA/CD, наприклад, Fast Ethernet, максимальна довжина мережі зменшується пропорційно збільшенню швидкості передачі. Якщо в стандарті Fast Ethernet вона становить 210 м, то в гігабітному Ethernet обмежена 25 метрами.

Незалежно від реалізації фізичного середовища, всі мережі Ethernet повинні задовольняти двом обмеженням, пов'язаним із методом доступу:

- максимальна відстань між двома вузлами не повинна перевищувати 2500 м, а в мережі не повинно бути більше 1024 вузлів;
- кожен варіант фізичного середовища додає до цих обмежень свої обмеження, які також повинні виконуватися.

Основні параметри операцій передавання та приймання кадрів Ethernet, коротко описані вище.

Станція, яка хоче передати кадр, повинна спершу за допомогою MAC-вузла упакувати інформацію в кадр відповідного формату. Потім для запобігання змішанню сигналів із сигналами іншої передавальної станції, MAC-вузол повинен прослуховувати електричні сигнали на кабелі і якщо виявляться несучі частоти 10 МГц, то відкласти передачу свого кадру. Після закінчення передачі по кабелю станція повинна почекати невелику додаткову паузу, так звану міжкадровим інтервалом (interframe

gar), це дає можливість вузлу призначення прийняти і обробити переданий кадр, і тільки після цього почати передачу свого кадру.

Одночасно з передачею бітів кадру приймально-передавальний пристрій вузла стежить за бітами, що приймаються загальним кабелем, для того, щоб вчасно виявити колізію. У разі невиявлення колізії, передається весь кадр, поле цього MAC-рівень вузла може прийняти кадр з мережі або від LLC-рівня.

Якщо ж розпізнається колізія, то MAC-вузол припиняє передачу кадру і посилає jam-послідовність, що підсилює стан колізії. Після надсилання в мережу jam-послідовності MAC-вузол робить випадкову паузу і повторно передає свій кадр.

У разі виявлення повторних колізій існує максимально можливе число спроб повторної передачі кадру (Attempt Limit), воно дорівнює

Після досягнення межі зафіксується помилка передачі кадру, повідомлення про яку передається протоколу верхнього рівня.

Щоб зменшити інтенсивність колізій, кожен MAC-вузол із кожною новою спробою випадковим чином збільшує тривалість паузи між спробами. Часовий розклад тривалості паузи визначається усіченим двійковим експоненціальним алгоритмом відстрочки (Truncated Binary Exponential Backoff). Пауза завжди становить ціле число, яке називається інтервалом відстрочки.

Інтервалом відстрочки (Slot Time) називається час, протягом якого станція гарантовано може дізнатися, що в мережі немає колізії. Цей час тісно пов'язаний з іншим важливим часовим параметром мережі, тобто вікном колізій (Collision Window). Вікно колізій дорівнює часу дворазового проходження сигналу між віддаленими вузлами мережі - найгіршому випадку затримки, за якої станція ще може виявити, що сталася колізія. Інтервал відтермінування обирається рівним величині вікна колізій плюс деяка додаткова величина затримки для гарантії [5-6]:

**інтервал відстрочки = вікно колізій + додаткова затримка**

## Значення основних параметрів процедури передавання кадру стандарту 802.3

Бітова швидкість	10 Мб/с
Інтервал відстрочки	512 бітових інтервалів
Міжкадровий інтервал	9.6 мкс
Максимальне число слотів передачі	10
Максимальне число часу діапазону паузи	10
Довжина Jam- послідовності	32 біта
Максимальна довжина кадру (без преамбули)	1518 байтів
Мінімальна довжина кадру (без преамбули)	64 байта (512) біт
Довжина преамбули	64 біта

У стандартах 802.3 більшість часових інтервалів вимірюються в кількості міжбітових інтервалів, величина яких для бітової швидкості 10 Мб/с становить 0.1 мкс і дорівнює часу передачі одного біта.

Величина інтервалу відстрочки в стандарті 802.3 дорівнює 512 бітовим інтервалам, і ця величина розрахована для максимальної довжини коаксіального кабелю в 2.5 км. Величина 512 визначає і мінімальну довжину кадру в 64 байти, оскільки за кадрів меншої довжини станція може передати кадр і не встигнути помітити факт виникнення колізії через те, що викривлені колізією сигнали дійдуть до станції в найгіршому разі після завершення передавання. Такий кадр буде втрачено.

Час паузи після N-ої колізії вважається рівним L інтервалам відтермінування, де L - випадкове ціле число, яке рівномірно розподілене в діапазоні  $[0, 2N]$ . Величина діапазону зростає тільки до 10 спроб, далі діапазон залишається рівним  $[0, 210]$ , тобто  $[0, 1024]$ . Значення основних параметрів процедури передачі кадру стандарту 802.3 наведено в таблиці 2.1.



## 2.6. Середовище передавання даних Ethernet

В Ethernet використовуються кабелі на основі неекранованої крученої пари. Вита пара - це вид кабелю зв'язку, що являє собою одну або кілька пар ізольованих провідників, скручених між собою (з невеликим числом витків на одиницю довжини), покритих пластиковою оболонкою. Звивання провідників проводиться з метою підвищення зв'язку провідників однієї пари (електромагнітна завада однаково впливає на обидва дроти пари) і подальшого зменшення електромагнітних завад від зовнішніх джерел, а також взаємних наведень під час передавання диференціальних сигналів. Для зниження зв'язку окремих пар кабелю (періодичного зближення провідників різних пар) у кабелях UTP категорії 5 і вище дроти пари звиваються з різною частотою [6]. Вита пара

- це один із компонентів сучасних структурованих кабельних систем. Застосовується в телекомунікаціях і в комп'ютерних мережах як мережевий носій у таких технологіях, як Ethernet, ARCNet і Token ring. Зараз завдяки своїй низькій вартості та легкості в установці, є найпоширенішим при побудові локальних мереж.

Кабель під'єднується до мережевих пристроїв за допомогою з'єднувача RJ45, трохи більшого, ніж телефонний з'єднувач RJ11.

## РОЗДІЛ 3

# ПРОЄКТУВАННЯ МУЛЬТИСЕРВІСНОЇ МЕРЕЖІ З НАДАННЯМ ПОСЛУГ TRIPLE PLAY З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЇ SDN

### 3.1. Постановка завдання і мета проєкту

Для визначення завдання цього проєкту потрібно розглянути стратегії переходу до мультисервісної мережі, запропоновані провідними світовими операторами телекомунікацій. Можливі стратегії переходу доцільно розділити на три основні групи: революційна, еволюційна та "острівна". Перша стратегія застосовується у двох випадках: будується нова мережа і вага експлуатованого обладнання передачі та комутації потребує заміни [12-14].

Практичне застосування революційної стратегії зустрічається дуже рідко. Друга стратегія передбачає, що оператор розробляє чіткий план поетапного перетворення мережі. Аналогом такого підходу є концепція "накладеної мережі", прийнята на етапі цифровізації телефонної мережі загального користування (СТОП). Третя стратегія заснована на тому, що оператор, у міру необхідності демонструючи застарілі комутаційні станції, формує "острови" нової мережі. Як видно, розумним варіантом слід вважати еволюційну стратегію переходу, яка передбачає співіснування протягом деякого часу двох технологій розподілу інформації - "комутація каналів" і "комутація пакетів" - в основній мережі.

У цьому проєкті наявна мережа СТОП являє собою вузькосмугову мережу TDM з комутацією каналів. У цьому випадку, можна використовувати острівну стратегію переходу до мереж наступного покоління. SoftX3000 виконує функції сигнального комутатора, а універсальний медіашлюз UMG8900 - функції абонентського доступу та комутації. Так, завдяки сумісності з наявною мережею TDM з'являється можливість крок за кроком реконструювати мережу СТОП і здійснити поступову еволюцію до мереж нового покоління.

### 3.2. Загальний опис проєктованої мережі

Проектowana мережа будується на базі вузлів, розташованих на АТС, АМТС і РАІУ. Вузли з'єднуються між собою волоконно-оптичними лініями зв'язку, на базі яких формуються магістральні канали зв'язку Gigabit Ethernet з пропускною спроможністю 1 Гбіт/с. Підключення абонентів до мережі здійснюється каналами зв'язку, що створюються за технологією Fast Ethernet або Gigabit Ethernet, так само дротовими телефонними лініями зв'язку із застосуванням технологій xDSL.

Впровадження мультисервісної мережі відбувається за принципом "ядра, що розширюється", який передбачає поступове впровадження і збільшення кількості елементів мережі на всіх рівнях мережі.

Спершу передбачається впровадження мережі VoIP на міжміському рівні для скидання надлишків міжміського і місцевого трафіку на мережу з комутацією пакетів. Таке рішення дає можливість значно зменшити інвестиції в мережу з комутацією каналів, а також створить технологічну базу для впровадження всіх інших технологій і обладнання мультисервісних мереж. Далі будуть встановлені медіашлюзи. Підключення медіашлюзів здійснюватиметься за сигналізацією ЗКС №7.

Точки підключення на місцевому рівні обрано виходячи з необхідності збільшення каналної ємності АМТС, ємності аналогових АТС, які підлягають заміні.

Підключення медіашлюзів до мережі передавання інформації здійснюється за інтерфейсами FE або GE на рівні міських мереж Metro Ethernet. Управління медіашлюзами за протоколом H.248. Для управління мережею медіашлюзів має бути встановлений програмний комутатор.

У результаті впровадження першого етапу буде створено альтернативну мережу передачі міжміського трафіку за технологією VoIP, інфраструктуру для впровадження нових видів послуг, рівень конвергенції для впровадження традиційних послуг місцевого зв'язку за допомогою пристрою нового покоління.

У процесі впровадження цього проєкту мають бути розв'язані головні питання забезпечення необхідної якості передавання відеосигналу, мовлення мережею IP, інформаційної безпеки роботи мережі, сертифікації білінгової підсистеми, а також питання адміністративного управління всіма елементами мультисервісної мережі.

Проектована мережа передачі інформації Metro Ethernet призначена для надання таких послуг передачі інформації:

- xDSL доступ в Інтернет для домашніх абонентів;
- корпоративний xDSL доступ в Інтернет для корпоративних клієнтів;
- корпоративний xDSL доступ, побудова закритих віртуальних мереж;
- побудова закритих приватних мереж;
- IP-телебачення;
- телефонія.

Проектована мережа будується на базі обладнання Cisco і Huawei. Застосовувані технології базуються на відкритих стандартах, що дають змогу розширювати і доповнювати наявну архітектуру. У межах проєктованої мережі на вузлах зв'язку встановлюють такі пристрої: маршрутизатори Cisco 7606, Cisco 7609, маршрутизувальні комутатори Cisco Catalyst 3750 ME, медіашлюзи Huawei UMG8900, сервер доступу Huawei MA5200G, платформа абонентського доступу Huawei UA5000, програмний комутатор SoftX3000, головна IP-TV станція MediaPlex 20, каналоутворювальний пристрій.

### **3.3. Структура мережі**

Міська мережа передачі інформації має такі підсистеми:

- рівень агрегації;
- рівень доступу;
- система управління мережею;
- система управління з'єднаннями.

Підсистеми, що не входять до цього проєкту, але тісно пов'язані і є невід'ємною частиною системи надання послуг:

- система вибору послуг, контролю доступу та авторизації;
- сервери системи надання послуг;
- система захисту інформації.

Рівень агрегації мережі забезпечує об'єднання всіх інших підсистем і зв'язок із зовнішніми мережами. На цьому рівні відбувається об'єднання VLAN рівня доступу для їхнього термінування на шлюзі вибору послуг, SSG. Цей рівень побудований на високопродуктивних маршрутизувальних комутаторах Cisco 3750 і маршрутизаторах Cisco серії 7600. Пристрої рівня агрегації пов'язані інтерфейсами Gigabit Ethernet і об'єднані в кільце. Для зв'язку з іншими пристроями також використовуються Gigabit Ethernet інтерфейси.

Рівень доступу забезпечує концентрацію трафіку абонентів, класифікацію та маркування абонентського трафіку з метою забезпечення заданих рівнів якості обслуговування для різних видів даних. DSL концентратори підключаються до комутаторів інтерфейсами Gigabit Ethernet. Комутатори рівня доступу об'єднуються в кільця або півкільця для забезпечення відмовостійкості.

Система керування мережею слугує для забезпечення моніторингу мережі, конфігурування пристрою та послуг на мережі, вимірювання продуктивності та підтримання заданого рівня обслуговування.

Система управління забезпечує:

- безперервне автоматичне спостереження (моніторинг) за роботою мережі;
- спрощення процесу адміністрування мережі, управління та конфігурування пристроїв;
- пошук і локалізація несправностей;
- наочна візуалізація топології мережі з відображенням стану каналів і пристроїв.

Підсистема вибору послуг, контролю доступу та авторизації проводить авторизацію користувачів і дає можливість користувачеві активізувати необхідні йому сервіси. А також, підсистема веде облік ресурсів, споживаних клієнтом. Підсистема захисту інформації являє собою програмно-апаратний комплекс засобів, який забезпечує безпеку мережі як щодо доступу до ресурсів публічних мереж (Інтернет, сторонні

оператори), так і щодо контролю змісту і структури переданих інформаційних потоків.

### 3.4. Обладнання проєктованої мережі

Для побудови мультисервісної мережі з наданням послуг Triple Play використано сучасне обладнання світових виробників. На рівні агрегації застосовано обладнання компанії Cisco, лідера у виробництві та обслуговуванні обладнання для побудови магістральної частини сучасних мереж MetroEthernet. На рівні управління з'єднаннями і рівні доступу застосовано рішення компанії Huawei для міських мереж: лінійка пристроїв U-Sys, що включає в себе гнучкий комутатор SoftX3000, універсальний медіашлюз UMG8900, мультисервісний вузол доступу UA5000. Для надання послуг IP-телебачення використано IP-TV станцію компанії Mediarplex, а на стороні користувача встановлюється STB-приставка виробництва компанії Thompson. Нижче наведено короткі описи кожного з обладнань.



Рис. 3.1. Гнучкий комутатор U-Sys SoftX3000



Рис. 3.2. Універсальний медіашлюз Huawei UMG8900



Рис. 3.3. Мультисервісний вузол доступу Huawei UA5000

**Обладнання рівня агрегації. Багаторівневий комутатор Cisco 3750ME.**

Багаторівневий комутатор Cisco Catalyst серії 3750 Metro призначений для інфраструктури міських мереж Ethernet, виконує функції інтелектуальної комутації на

кордоні міської мережі та забезпечує підтримку диференційованих послуг. Комутатор підтримує ієрархічне управління якістю обслуговування (QoS) і обмеження вихідного трафіку, інтелектуальне тунелювання 802.1Q, відображення віртуальних локальних мереж VLAN, мультипротокольную комутацію на основі міток (MPLS) та Ethernet поверх MPLS (EoMPLS), а також резервування живлення змінного і постійного струму. Завдяки технології Cisco StackWise можна об'єднати до 9 комутаторів Catalyst 3750ME, які можуть працювати як один логічний комутатор. При цьому можна отримати до 468 портів 10/100TX або до 252 портів 10/100/1000T, додаючи нові комутатори в стек у міру потреби. Пропускна здатність шини стека становить 32 Гбіт/с. Завдяки технології Cisco Express Forwarding (CEF) серія Catalyst 3750 забезпечує високопродуктивну маршрутизацію трафіку IP, а також має апаратну підтримку маршрутизації IPv6. Підтримується більшість протоколів маршрутизації - RIPv1, RIPv2 (у версії ПЗ SMI і EMI), OSPF, IGRP, EIGRP, BGPv4 (тільки EMI), а також PBR і протоколи маршрутизації Multicast-трафіку (тільки EMI) - PIM-SM, PIM-DM, PIM Sparse-Dense Mode, тунелювання DVMRP.



Рис. 3.4. Багаторівневий комутатор Cisco 3750ME

### **Маршрутизатори Cisco 7609 і Cisco 7606.**

Маршрутизатори серії Cisco 7600 призначені для побудови територіально розподілених (WAN) і міських (MAN) мереж, і для використання в якості граничних маршрутизаторів в мережах провайдерів послуг. Їхнє основне завдання - забезпечення роботи критичних IP-додатків на швидкостях, що дорівнюють пропускній здатності оптичних каналів. Вони реалізують надійні та високопродуктивні функції IP/MPLS. Підтримуючи різні інтерфейси і технологію адаптивної обробки мережевого трафіку, маршрутизатори серії Cisco 7600 пропонують інтегровані послуги Ethernet, приватних ліній і агрегації користувачьких підключень.



Маршрутизатори серії Cisco 7600 забезпечують продуктивність на рівні декількох Гбіт/с у розрахунку на слот, випускаються в різних форм-факторах і підтримують поліпшені модулі оптичних інтерфейсів для надання високопродуктивних послуг. Мультипроцесорний модуль WAN-додатків забезпечує інтелектуальне агрегування широкосмугових Ethernet-з'єднань і дає змогу використовувати маршрутизатор серії Cisco 7600 як концентратор доступу Ethernet L2TP або як мережевий сервер L2TP з високою щільністю призначених для користувача підключень.



Рис. 3.5. Маршрутизатори Cisco 7609 і Cisco 7606

### **Обладнання системи керування з'єднаннями.**

Гнучкий комутатор SoftX3000. SoftX3000 є гнучким комутатором (SoftSwitch) з великою місткістю, продуктивністю і високими характеристиками, використовується на рівні управління мережі NGN і здійснює управління викликами і з'єднаннями для сеансів мовного зв'язку, передачі інформації і послуг мультимедіа через IP-мережу. Обладнання SoftX3000 вирізняється можливостями надання різноманітних послуг і величезними можливостями мережевої взаємодії. У процесі розвитку та інтеграції традиційних мереж із мережами NGN пристрій SoftX3000 може використовуватися для різних цілей:

- пристрій повністю сумісний з усіма можливостями послуг мережі PSTN і підтримує різні протоколи, зокрема протокол управління медіашлюзом (MGCP), протокол H.248, протокол ініціації сеансу зв'язку (SIP) і протокол H.323. Традиційні телефонні термінали PSTN, пакетні термінали з підтримкою MGCP, H. 248, SIP та/або H. 323 можуть підключатися до SoftX3000, він може забезпечити різні послуги, включно з мовленнєвим зв'язком, передачу інформацій та послуги мультимедіа. Отже, пристрій SoftX3000 може застосовуватися як кінцева станція послуг мультимедіа;

- пристрій SoftX3000 підтримує традиційну сигналізацію мережі PSTN, наприклад систему загальноканалної сигналізації ЗКС7 (SS7), систему сигналізації R2, систему цифрової призначеної для користувача сигналізації No.1 (DSS1) і протокол V5. Завдяки координації зі шлюзами SG, TMG, UMG та іншими шлюзами, SoftX3000 забезпечує обладнанню різні способи доступу і технології транспорту, якими володіють існуючі на мережі PSTN станції. Пристрій SoftX3000 може працювати як кінцева станція мовного зв'язку, транзитна станція або міжміська станція. Застосовуваний у мережі MetroEthernet програмний комутатор SoftX3000 підтримує такі IP сигнальні протоколи, як SIP/SIP-T; H.248; H.323; MGCP; SIGTRAN.

У мережі MetroEthernet встановлюється два програмні комутатори SoftX3000. Це забезпечує надійність функціонування підсистеми в мережі шляхом застосування рішення "двозв'язного підключення" медіашлюзів, пристроїв доступу та IP-терміналів до двох програмних комутаторів SoftX3000, які працюють у режимі взаємної підтримки (Dual Home). Рішення Dual-Home передбачає, що два програмні комутатори SoftX3000 обслуговують два різні домени мережі. При цьому між SoftX3000 організовано сигнал синхронізації, який синхронізує дані по клієнтах, медіашлюзах і транках із сусіднього домену мережі. У медіашлюзах і пакетних терміналах органівуються два сигнальних напрямки реєстрації: на активний і резервний SoftX3000. У звичайному режимі кожен медіашлюз реєструється в SoftX3000, який для нього сконфігуровано як активний (первинний). У разі, реєстрації медіашлюзу від активного SoftX3000 не приходять підтвердження, він реєструється на резервному (вторинному) SoftX3000. Ємність усіх медіашлюзів і термінальних пристроїв, під'єднаних до

первинного SoftX, що працює в режимі Dual-Home, для забезпечення достатнього рівня надійності має бути не більшою за 50% його ємності. Перемикання "активний - резервний" може здійснюватися як в автоматичному, так і в ручному режимі (за командою оператора OSS).

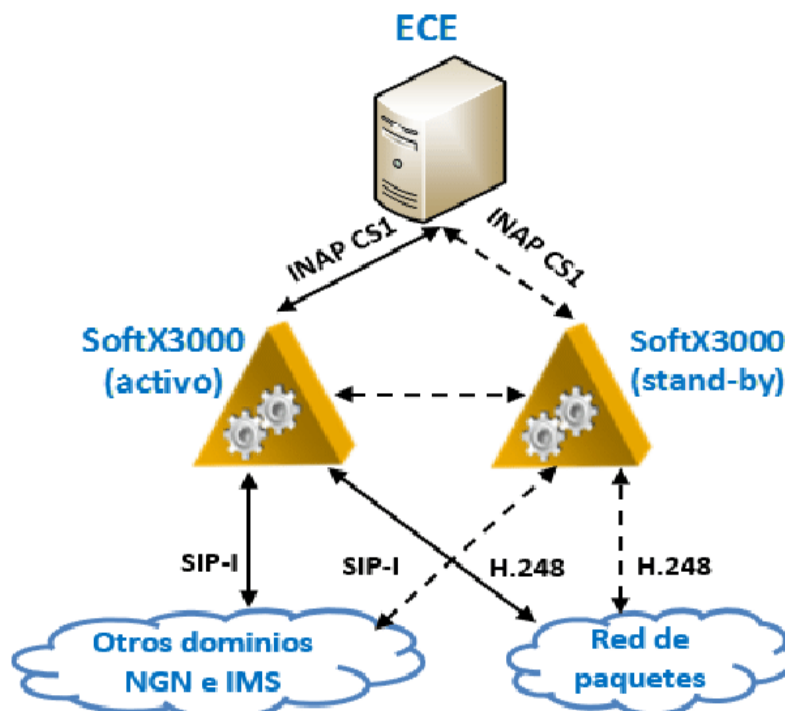


Рис. 3.6. Загальна схема резервування програмних комутаторів SoftX3000

### Обладнання рівня доступу. Універсальний медіашлюз UMG8900.

Універсальний медіашлюз UMG8900 застосовують для прозорі інтеграції мультисервісних мереж NGN і мереж із комутацією каналів (напр. СТОП), а також для забезпечення додатків кінцевої станції класу 5 і функцій транзитної станції класу 4. У поєднанні з SoftX3000 медіашлюз UMG8900 забезпечує всі функції PSTN, зокрема функції шлюзу, пункту комутації послуг SSP, багатостороннього конференцзв'язку. UMG8900 підтримує різні види мовних кодеків G.711/G.729/G.726/G.723, факс-кодека T.38, факсу поверх G.711 і модему поверх G.711. UMG8900 підтримує різні види сигналізації, як-от міжстанційна сигналізація SS7/R2/No.5, сигналізація доступу ISDN (PRI і BRI)/V5.

UMG8900 як шлюз операторського класу великої ємності підтримує взаємодію між різними мережами і забезпечує функцію перетворення форматів потоків мовних

і мультимедійних послуг. UMG8900 може слугувати шлюзом з'єднувальних ліній TMG (Trunk Media Gateway) і шлюзом доступу AG (Access Media Gateway) у мережі наступного покоління NGN, а також підтримувати функцію вбудованого шлюзу сигналізації SG (Signalling Gateway).

UMG8900 може виконувати функції комутатора TDM з управління SoftX3000, у режимі NGN-орієнтованого комутатора для забезпечення всіх послуг СТОП і реалізації плавного переходу до NGN.

Для переходу до сучасних мультисервісних NGN-мереж з урахуванням потреб розвитку нині існуючої мережі, поєднання UMG8900 + SoftX3000 в рішенні Huawei U-SYS з архітектурою NGN дає можливість реалізувати традиційні функції комутації, SoftX3000 виконує функції сигнального комутатора, а UMG8900 виконує функцію комутації та доступу користувачів.

UMG8900 дає можливість здійснювати поетапну модернізацію СТОП, підтримуючи сумісність з наявними інтерфейсами TDM, забезпечуючи плавний перехід до NGN.

### **Платформа абонентського доступу UA5000.**

Інтегрована платформа UA5000 виконує функції обладнання доступу, забезпечуючи клієнтам послуги передавання мови та широкосмугового доступу. Система UA5000 обладнана різними сервісними XDSL і POTS портами. Універсальний модуль доступу Huawei UA5000 надає доступ до традиційних мовних послуг, широкосмуговий доступ, доступ до послуг VoIP і мультимедійних послуг. UA5000 підтримує безліч послуг, зокрема передачу мовлення і широкосмугових послуг, послуги виділених ліній за допомогою різних головних плат управління. Плата PVM або PVU підтримує мовні послуги та послуги виділених вузькосмугових ліній. Мережа СТОП підтримує такі послуги:

- послуги POTS: UA5000 надає порти POTS для аналогових клієнтів і PBX. UA5000 підтримує додаткові послуги, наприклад, CENTREX і визначення номера абонента, що викликає (CID);

- послуги ISDN: UA5000 надає порти ISDN BRI (2B+D) і ISDN PRI (30B+D), підтримує послуги N-ISDN, зокрема відеоконференц-зв'язок, відеотекст, факсимільний зв'язок G4, електронний зв'язок, електронну пошту, передавання інформації, взаємодію з локальними мережами, доступ до Інтернету;

Мовні послуги наступного покоління: UA5000 як AMG і під управлінням MGC підтримує послуги VoIP для абонентів POTS, Послуги VoIP для абонентів ISDN BRI, Послуги FoIP у режимі наскрізної передачі G.711, Послуги FoIP у режимі T.38, Послуги MoIP у режимі наскрізної передачі, Послуги прямого набору номера (DDI).

Широкопasmові послуги: UA5000 надає XDSL і XDSL 2+, SHDSL, VDSL, Ethernet порти. Широкопasmові висхідні IP-порти, включно з FE і GE, порти ATM, включно зі STM-1 ATM, ATM E3, ATM T3 і IMA E1.

Послуги виділених ліній UA5000 надає послуги виділених ліній для потреб корпоративних користувачів.

### **Сервер доступу MA5200G.**

Широкопasmовий інтелектуальний сервер доступу MA5200G надає абонентам доступ із застосуванням технологій Ethernet, xDSL, HFC, WLAN і підтримує аутентифікацію через Web, PPPoE або через прив'язку портів. У проєктованій MetroEthernet мережі міста MA5200G виконує функції BRAS (маршрутизатора широкопasmового віддаленого доступу). У його функції входить агрегація абонентів від UA5000, забезпечує призначені для користувача сесії за протоколами PPP, застосування політики якості обслуговування (QoS), маршрутизація трафіку в магістральну мережу.

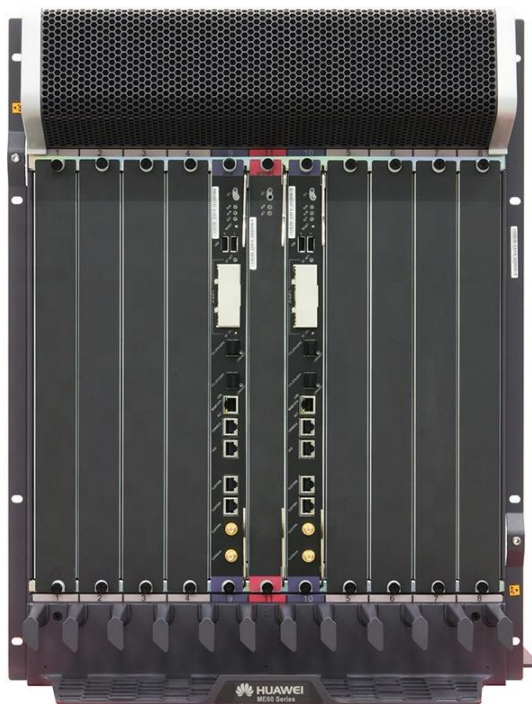


Рис. 3.7. Сервер доступу MA5200G

### **Обладнання рішення IP-TV. IP-TV станція MediaPlex 20.**

MediaPlex 20 пропонується операторам як станція вищого класу, що забезпечує телебачення професійної мовної якості через IP-мережі практично будь-якого, скільки завгодно великого розміру. Станція надає комутовані цифрові відеосервіси, відео на замовлення і багато інших сервісів сучасного IP-телебачення. Оператор може використовувати станцію для технологічного просування до IP-телебачення високої чіткості на базі передових форматів компресії цифрових відеопотоків. MediaPlex 20 підтримує обидві актуальні передові технології стиснення відео - MPEG4 AVC і VC-1 / Windows Media VC-9.

Крім своєї базової функції - IP-інкапсуляції - станція MediaPlex 20 виробляє:

- Video передпроцесинг (коригування зображення в частині яскравості, контрастності, насиченості, колірного балансу, шумозаглушення тощо);
- кодування відеопрограм у форматах MPEG2 і MPEG4/H.264 (Encoding);
- транскодування з MPEG2 у MPEG4/H.264 (Transcoding);
- мультиплексування і демультіплексування (Remultiplexing / Demultiplexing);
- трансрейтинг (Transrating);

- QoS тегінг (супровід відео-даних тегами, тобто ознаками, за якими визначається тип трафіку, що вимагає пріоритету QoS);
- формування вихідного MPEG over IP потоку.

Для надання оператору можливості отримувати і передавати контент, взаємодіючи з різними видами транспортних мереж без спеціальних транспортних конвертерів, станція має великий набір входів і виходів, включно з:

- двоспрямовані інтерфейси ATM OC-3с / STM1 для MM і SM волокна;
- двонаправлені інтерфейси ATM DS-3 / E-3;
- ASI інтерфейси;
- GigabitEthernet (4 порти на шасі);
- 10/100 Ethernet.

Для кодування вхідного відео в MPEG транспортний потік станція має входи композитного відео, S-video і цифровий вхід SDI.

Великою перевагою порівняно з іншими головними станціями IP-TV є підтримка MediaPlex 20 функції Stream Replications (дублювання потоку), що надає однаковий за змістом програм транспортний потік одночасно у форматах ATM, ASI і GigabitEthernet на відповідних виходах, притому швидкість потоку на різних виходах може бути різною. Це важлива перевага для операторів, які бажають надавати сервіси, що мають високу швидкість потоку через волокно або VDSL, і одночасно постачати той самий сервіс з більш низькою швидкістю через xDSL. Функція Stream Replications може використовуватися в гібридній мережі, що містить, наприклад, IP DSLAM'и і ATM DSLAM.

MediaPlex 20 вирізняється високою щільністю інтерфейсів і функціональних модулів. Будучи розміщеною в стандартній 19" стійці, ця компактна станція заввишки всього 19 hu (86 см) у максимальній комплектації може надати оператору:

- до 48 енкодерів MPEG2 і/або MPEG4;
- до 48 MPEG4 транскодерів;
- до 64 ASI входів і/або виходів, що мають до 1000 вхідних і/або вихідних потоків;

- трансрейтинг до 144 потоків.

Станція вирізняється високою надійністю. Є можливість повного резервування всього обладнання. Усі модулі, включно з блоками живлення і вентиляторами, допускають гарячу заміну.

Абонентські пристрої IP STB.

Для організації доступу до послуг IPTV під час реалізації проєкту проводиться інтеграція користувацьких пристроїв з компонентами системи IPTV.

Основні параметри і можливості IP-STB:

- 10/100BaseT Ethernet;
- Mini Din або SCART для НЧ-підключення до телевізійних приймачів;
- підтримка обраних систем MW,CAS,VOD;
- смарт-карт інтерфейс ISO-7816;
- формати 4:3 і 16:9;
- підтримка телетексту, субтитрів;
- пульт дистанційного керування;
- підтримка MPEG1 до 10 Мбіт/сек;
- відео протоколи IPTV широкого мовлення (IGMP), VOD (RTSP);
- розширювана пам'ять, блокована функція завантаження програмного забезпечення з мережі;
- дистанційне керування оновленням програмного забезпечення;
- захист від копіювання Macrovision Copy Protection;
- вбудований Web браузер з HTML, Java Script з первинною підтримкою користувацького інтерфейсу і порталу оператора через MW.

У проєкті передбачається застосовувати IP-STB типу Thomson IP 921.





Рис. 3.8. IP-TV станція MediaPlex 20

### 3.5. Додатки системи управління мережею

Для управління та адміністрування MetroEthernet мережі застосовують рішення компанії Cisco і Huawei Cisco LAN Management Solution, Cisco VPN Security Management Solution і Huawei iManager N2000 UMS. Нижче наведено короткі характеристики кожного із застосунків.

Cisco LAN Management Solution.

Додаток Cisco LAN Management Solution здійснює управління комутаторами Cisco (7600, 3750ME, 3400) і забезпечує:

- відстеження змін топології для мережі;
- моніторинг і аналіз продуктивності локальних мереж із застосуванням RMON/RMON2;
- контроль і діагностика стану мережі до абонентського закінчення;
- відстеження абонента за різними атрибутами реєстрації. Cisco VPN Security Management Solution.

Додаток Cisco VPN Security Management Solution здійснює управління комутаторами Cisco (7600, 3750ME, 3400) і забезпечує:

- управління мережевою безпекою на базі централізованої політики;
- налаштування та моніторинг інфраструктури безпеки;

- графічний інтерфейс налаштування і моніторингу як окремих пристроїв, так і мереж із сотень пристроїв;

- гнучка система звітності для відображення поточного стану та історії подій;

- автоматичне оновлення ПЗ і конфігурації на пристроях;

- ведення інвентаризації мережевих пристроїв;

- централізована багаторівнева система адміністративного доступу. Система управління iManager N2000 UMS.

Для віддаленого програмного управління лінійки обладнання Huawei U-Sys використовується система управління iManager N2000 UMS. Вона виконує управління такими пристроями:

- сигнальним комутатором SoftX3000;

- платформою доступу UA5000;

- універсальним медіашлюзом UMG8900.

### **3.6. Забезпечення якості обслуговування трафіку**

Опис класів трафіків.

Для проєктованої Gigabit Ethernet t мережі розглядаються такі класи клієнтських трафіків:

- RT-Vo - голосовий трафік (Voice over IP);

- RT-Vi - відеотрафік (Video over IP);

- D1 - трафік даних застосунку, критичного до затримок (напр. ERP);

- D2 - між офісний трафік даних (напр. Intranet);

- D3 - трафік даних стандартних (некритичних) додатків (напр. Internet);

Відповідно до класів абонентського трафіку, що передається, порти, що надаються абонентам, характеризуються таким чином:

- Silver - порт, що відповідає передачі абонентського трафіку класу D3;

- Gold - порт, що відповідає передаванню абонентського трафіку класів

D1, D2 і D3;

- Platinum - порт, що відповідає передачі абонентського трафіку D1, D2, D3, RT-Vo і RT-Vi.

Умовно, можна розглядати процес забезпечення якості обслуговування на PE-маршрутизаторах як сукупність двох політик: QoS Policy Input на вхідному порту і QoS Policy Output на вихідному порту. Політика QoS Policy Input на вхідному порту містить механізми класифікації, розфарбовування і полісингу трафіку. Нижче наводиться коротка характеристика кожного із зазначених вище механізмів:

- класифікація - це ідентифікація трафіку відповідно до його параметрів (наприклад, адреси джерела, TCP порту тощо);

- розфарбування - це встановлення певного значення поля ToS заголовка IPv4 пакета. Можливе завдання величини для IP Prec поля (3 старших біти поля ToS) або DSCP поля (6 старших бітів поля ToS);

- полісинг - це обмеження швидкості вхідного трафіку.

Етапи класифікації, розфарбовування і полісингу виконуються на SE-обладнанні, тобто в мережі MetroEthernet - на обладнанні Huawei. Передбачається, що обладнання Huawei (наприклад, UA5000) може ідентифікувати голосовий трафік і встановити йому відповідне значення IP Prec.

У разі неможливості виконання цих функцій SE-обладнанням, класифікацію, розфарбовування і полісинг трафіку виконує PE-маршрутизатор.

Для ідентифікації трафіку, як правило, використовуються розширені листи доступу (ACL). Відповідно, параметрами, що визначають клас трафіку, є IP-адреси джерела і призначення, IP-протокол, TCP/UDP порти тощо.

На мережі Gigabit Ethernet пропонується використовувати IP Precedence-based тип розмальовки, тобто встановлювати для різних класів трафіку певне значення поля IP Prec, а саме:

- RT-Vo - IP Prec 5;

- RT-Vi - IP Prec 4;

- D1 - IP Prec 3;

- D2 - IP Prec 2;

- D3 - IP Prec 1.

Розфарбування трафіку на PE-маршрутизаторах виконується відповідно до одного з таких варіантів:

- у разі встановлення IP Prec на обладнанні Huawei PE-маршрутизатори передають поле IP Prec без змін (Trust mode);

- у разі неможливості встановлення IP Prec на обладнанні Huawei (або в разі під'єднання CE-обладнання під управлінням сторонньої організації), на вхідному порту PE-маршрутизатора здійснюють класифікацію, встановлення або перезапис поля IP Prec.

Головна функція етапу полісингу - обмеження швидкості вхідного трафіку. Розглядаються два варіанти обмежень трафіку: сумарної швидкості трафіку і швидкості окремих класів трафіку.

У полісингу для трафіку встановлюється певна пікова швидкість. У разі перевищення пікової швидкості пакети трафіку або видаляються, або їм знижується значення поля IP Prec.

Політика QoS Policy Output на вихідному порту має механізми керування трафіком (scheduling, congestion management) і уникнення перевантаження (congestion avoidance).

Нижче наведено коротку характеристику кожного із зазначених вище механізмів.

Механізм управління трафіком - це побудова черг пакетів, визначення послідовності відправлення пакетів.

Механізм уникнення перевантаження - це контроль ступеня заповнення черг, утилізація пакетів при станах черг, близьких до повного завантаження.

Механізм управління трафіком (також називається механізмом управління перевантаженнями - Congestion Management) працює побудовою LLQ черговості, що умовно є гібридом PQ і CB-WFQ.

У LLQ черговості для класу RT-Vo виділяється черга абсолютного пріоритету. Це забезпечує мінімальне значення варіації затримки для голосового трафіку.

Для класів RT-Vi, D1, D2 і D3 виділяються черги відносного пріоритету, що визначаються величиною пропускної спроможності порту, приписаної даному класу. Умовно можна сказати, що чим більше клас трафіку критичний до параметрів якості обслуговування, тим більше значення пропускної здатності порту йому гарантується.

Щоб уникнути перевантаження черг пакетів застосовується механізм WRED. У цьому механізмі для класу трафіку встановлюється два порогових значення: мінімальне і максимальне.

Коли приходить пакет, обчислюється середнє значення довжини черги. Якщо обчислене значення менше за мінімальний поріг черги, то пакет, що приходить, ставиться в чергу. Якщо обчислене значення лежить між мінімальним і максимальним порогами, то пакет ставиться в чергу або відкидається залежно від імовірності видалення, встановленої для цього класу трафіку. Якщо об'єм черги більший за максимальний поріг, пакет відкидається.

### **3.7. Маршрутизація Gigabit Ethernet мережі**

Маршрутизація IP трафіку здійснюється на рівні агрегації та рівні доступу. Маршрутизація здійснюється на обладнанні BRAS MA5200G і на граничних маршрутизаторах Cisco 7606/7609. BRAS забезпечує термінування сесій PPPoE для під'єднання клієнтів xDSL, контроль доступу на рівні IP, а також передачу білінгової інформації на систему білінгу. Маршрутизатори забезпечують маршрутизацію трафіку системи управління, а також обмін інформацією мереж клієнтів з Інтернетом через підключення до магістральної мережі через відповідні VLAN.

На шлюзі вибору послуг термінуються віртуальні приватні мережі, утворені магістральним обладнанням Cisco, і забезпечується маршрутизація IP-трафіку між цими віртуальними приватними мережами. Схема здійснення маршрутизації в MetroEthernet мережі наведена на малюнку 3.9.

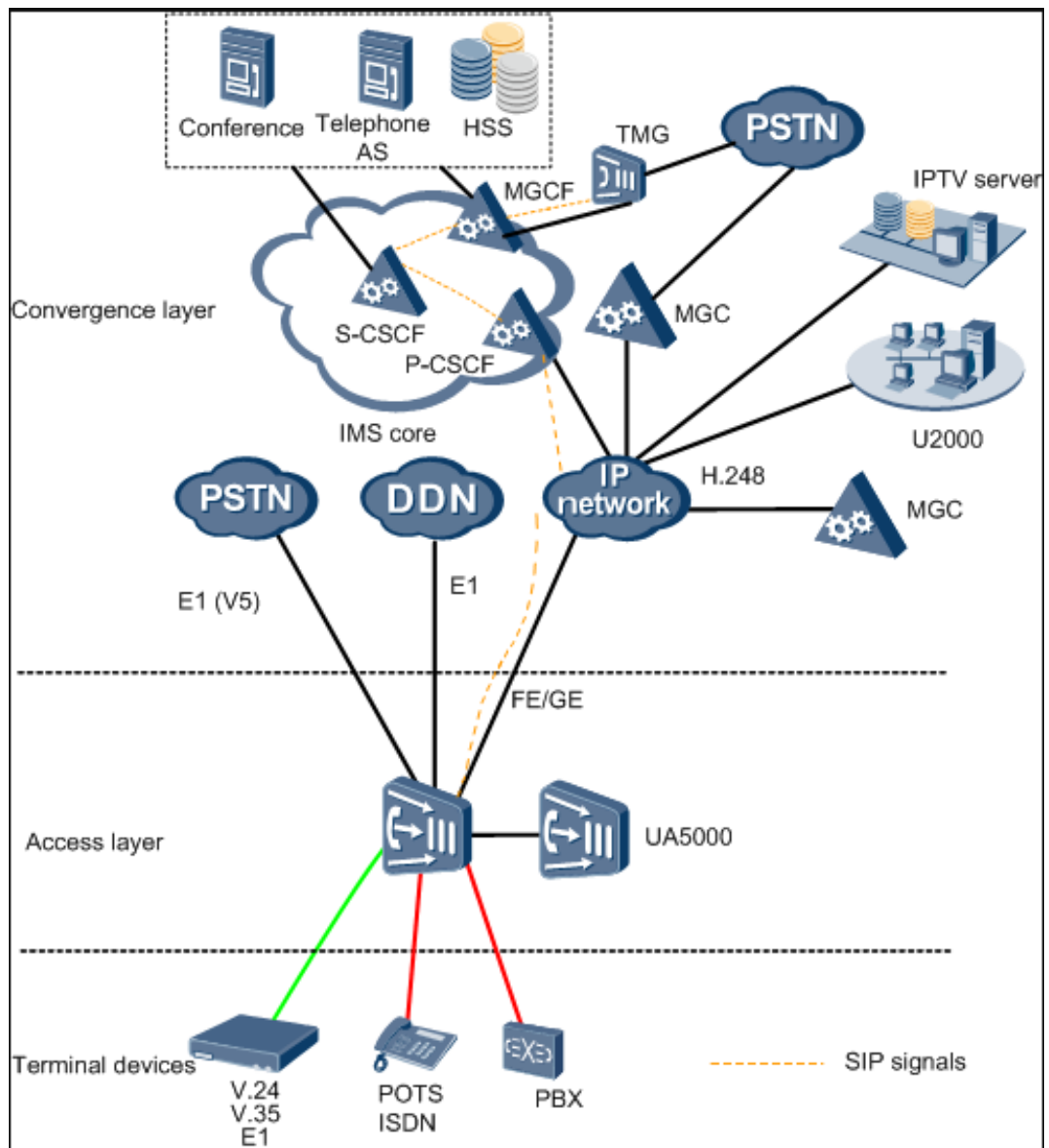


Рис. 3.9. Схема організації маршрутизації в мережі Gigabit Ethernet

### 3.8. IP-адресація мережі Gigabit Ethernet

Для обладнання, що формує телекомунікаційну інфраструктуру проектованої мережі, пропонується використання публічних Інтернет-адрес, зареєстрованих у RIPE. Для користувацьких мереж, клієнтів широкосмугових ліній xDSL тощо використовуються приватні IP-адреси.

Використання публічних Інтернет-адрес гарантує відсутність перетину IP адресних просторів під час виконання таких технічних завдань:

- інтеграція телекомунікаційної структури мережі MetroEthernet з мережами інших операторів;
- забезпечення доступу до телекомунікаційних ресурсів, що розділяються, з призначених для користувача VPN-мереж, що мають різну IP-адресацію.

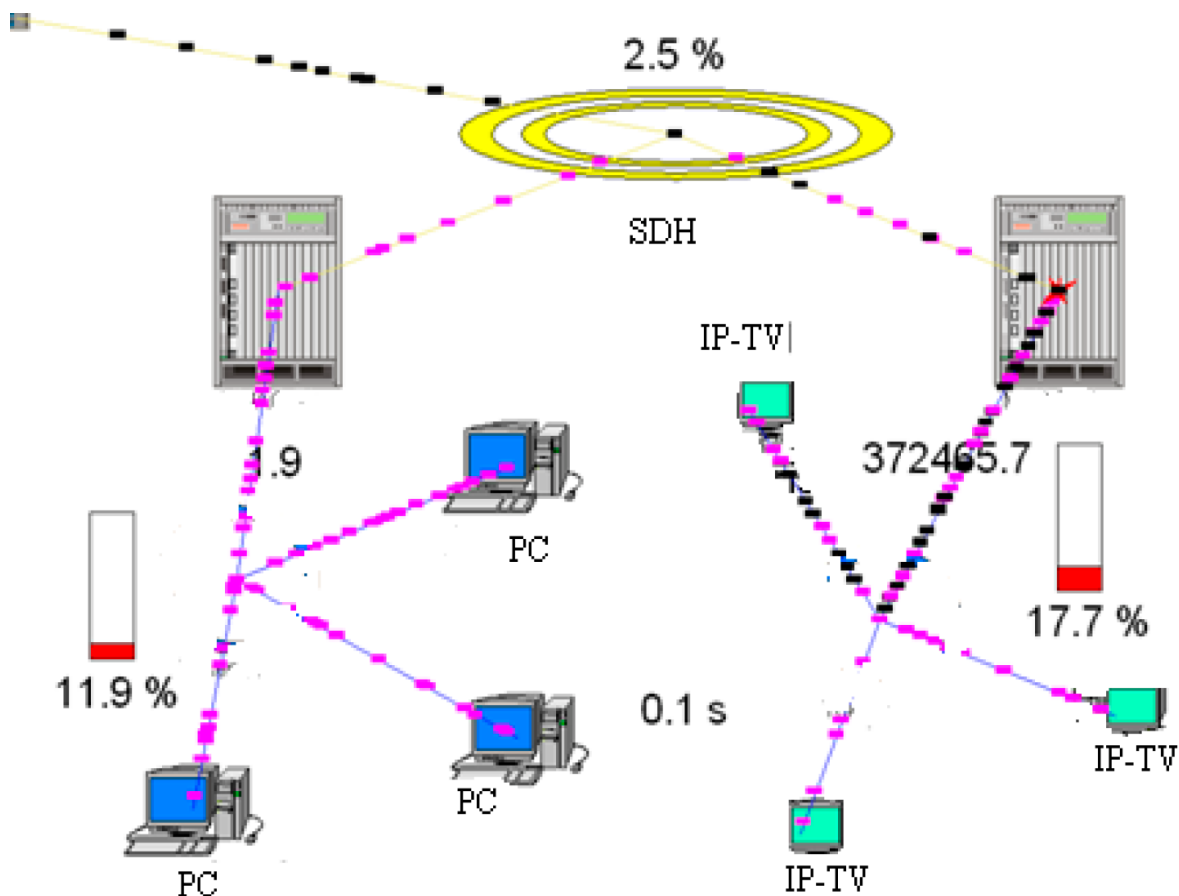


Рис. 3.10. Схема проходження мультисервісного цифрового трафіку за технологією SDH для проєктованої мережі

### 3.9. Розрахунок обладнання гнучкого комутатора

**Продуктивність.** Головним завданням гнучкого комутатора під час побудови розподіленого абонентського концентратора є оброблення сигнальної інформації обслуговування виклику та управління встановленням з'єднань.

До мережі NGN можуть підключатися абоненти різних типів. При цьому для обслуговування викликів використовуються різні протоколи сигналізації.

Уведемо такі змінні:

$P_{СТОП}$  - питома інтенсивність викликів від абонентів, які використовують доступ по аналоговій телефонній лінії в ЧНН, прийmemo  $P_{СТОП} = 5$  виклик/год;

$P_{ADSL}$  - питома інтенсивність викликів від абонентів XDSL у ЧНН, прийmemo  $P_{ADSL} = 10$  вик/год;

$P_{PBX}$  - питома (приведена до одного каналу інтерфейсу) інтенсивність викликів від УПАТС, що підключаються до пакетної мережі, прийmemo  $P_{PBX} = 35$  вик/год.

$P_{SHM}$  - питома інтенсивність викликів від абонентів, які використовують термінали SIP, H.323, MGCP, значення  $P_{SHM}$  можна прийняти рівним  $P_{СТОП}$ .

Тоді загальна інтенсивність викликів, що надходять на гнучкий комутатор від джерел усіх типів дорівнює:

$$P_{CALL} = P_{СТОП} \cdot \left( \sum_{i=1}^L N_{i\_СТОП} + \sum_{i=1}^L N_{i\_SHM} \right) + P_{ADSL} \cdot \sum_{i=1}^L N_{ADSL} + P_{PBX} \cdot \sum_{i=1}^L \sum_{k=1}^K N_{k\_PBX}, \quad (3.1)$$

де  $L$  - кількість шлюзів доступу, що обслуговуються гнучким комутатором,  $K$  - кількість УПАТС, підключених до шлюзу.

Загальна інтенсивність викликів, що надходить на гнучкий комутатор у ЧНН визначається:

$$P_{CALL} = 5 \cdot (448 + 1152 + 768 + 768 + 960 + 1152 + 1152) + 10 \cdot (48 + 96 + 48 + 48 + 96 + 144 + 96) + 35 \cdot 130 = 42310 \text{ вик/чнн};$$

Необхідно зазначити, що питома продуктивність комутаційного пристрою може відрізнятися залежно від типу виклику, що обслуговується, тобто продуктивність під час обслуговування, наприклад, викликів СТОП і xDSL, може бути різною. У документації на комутаційному пристрої вказується продуктивність для найбільш "простого" типу викликів. У зв'язку з цим під час визначення вимог до продуктивності можна ввести поправочні коефіцієнти, що характеризують можливості системи з обслуговування цього типу викликів щодо "ідеального" типу. У нашому випадку, за продуктивності системи для "ідеальних" викликів SIP, що дорівнює 10 млн. вик/чнн,



і викликів СТОП - 8 млн. вик/чнн, інтенсивність слід брати з поправочним коефіцієнтом  $k = 1.25$ . Так, нижня межа продуктивності гнучкого комутатора з обслуговування потоку викликів з інтенсивністю  $P_{CALL}$ , введеною поправкою, визначено за формулою:

$$P_{SX} = k \cdot (N_{СТОП} \cdot P_{СТОП} + N_{ADSL} \cdot P_{ADSL} + N_{PBX} \cdot P_{PBX} + N_{SHM} \cdot P_{SHM}), \quad (3.2)$$

Межа продуктивності з поправочним коефіцієнтом дорівнює:

$$P_{SX} = 1.25 \cdot 42310 = 52887.5 \text{ вик/чнн};$$

Вимоги щодо продуктивності припускають роботу пристрою гнучкого комутатора в умовах перевантаження з показниками, що не нижчі за визначені в рекомендації Q.543 для навантажень класів В і С [1].

**Ємнісні параметри.** Ємнісні параметри користувацької бази гнучкого комутатора дають змогу обслуговування всіх абонентів різних типів, під'єднання яких планується під час проєктування мережі. Параметри інтерфейсу підключення до пакетної мережі визначаються виходячи з інтенсивності обміну сигнальними повідомленнями в процесі обслуговування викликів. Уведемо такі змінні:

$L_{MEGACO}$  - середня довжина повідомлення (у байтах) протоколу MEGACO, використовуваного під час передавання даних сигналізації абонентськими лініями;

$N_{MEGACO}$  - середня кількість повідомлень протоколу MEGACO під час обслуговування виклику;

$L_{IUA}$  - середня довжина повідомлення протоколу IUA;

$N_{IUA}$  - середня кількість повідомлень протоколу IUA під час обслуговування виклику;

$L_{SH}$  - середня довжина повідомлень протоколу SIP/H.323;

$N_{SH}$  - середня кількість повідомлень протоколу SIP/H.323 під час обслуговування виклику;

$L_{MGCP}$  - середня довжина повідомлень протоколу MGCP, використовуваного під час управління комутацією на шлюзі;

$N_{MGCP}$  - середня кількість повідомлень протоколу MGCP під час обслуговування виклику.

Тоді,

$$V_{SX} = k_{sig} \cdot [(L_{MEGACO} \cdot N_{MEGACO} \cdot P_{СТОП} \cdot N_{СТОП} + L_{V5UA} \cdot N_{V5UA} \cdot P_{V5} \cdot N_{V5} + L_{IUA} \cdot N_{IUA} \times (P_{ADSL} \cdot N_{ADSL} + P_{PBX} \cdot N_{PBX}) + L_{SH} \cdot N_{SH} \cdot P_{SH} + L_{MGCP} \cdot N_{MGCP} \cdot (P_{СТОП} \cdot N_{СТОП} + P_{V5UA} \cdot N_{V5UA} + P_{ADSL} \cdot N_{ADSL} + P_{PBX} \cdot N_{PBX})] / 450, \quad (3.3)$$

де  $V_{SX}$  - мінімальний корисний транспортний ресурс, у біт/с, яким гнучкий комутатор повинен підключатися до пакетної мережі, для обслуговування викликів в інфраструктурі абонентського концентратора;

$k_{sig}$  - коефіцієнт використання транспортного ресурсу під час передавання сигнального навантаження. Прийmemo значення Ерл;

$k_{sig} = 5$ , що відповідає навантаженню в 0.2 Ерл.

1/450 - результат приведення розмірностей "байт на годину" до "біт на секунду" ( $8/3600 = 1/450$ ).

У нашому випадку, візьmemo середню довжину всіх повідомлень, що дорівнює 50 байт, а середню кількість повідомлень у процесі обслуговування виклику - 10, формулу (3,3) приведемо до вигляду:

$$V_{SX} = 5 \cdot (11 \cdot N_{ТМБК} + 78 \cdot N_{PBX} + 22 \cdot N_{ADSL}) \quad (3.4)$$

де  $V_{SX}$  - інтенсивність обміну сигнальними повідомленнями в процесі обслуговування викликів [1].

$$V_{SX} = 5 \cdot (11 \cdot 6400 + 78 \cdot 130 + 22 \cdot 576) = 1.01 \text{ Мбі т/с.}$$

**Розрахунок продуктивності комутаторів пакетної мережі.** Оскільки на рівні шлюзів доступу відбувається замикання призначеного для користувача навантаження, шлюзи мають свої власні комутатори, продуктивність якого обчислюється за формулою (3.5):

$$P_{GW} = M_{GW} \cdot V_{GW} / L_{IP}, \quad (3.5)$$

де  $M_{GW}$  - частка потоку абонентської інформації, що замикається на рівні шлюзу, в середньому 32,5 пакета;

$L_{IP}$  - довжина IP-пакета, у середньому становить 65 кбайт.

Підставляючи значення сумарного транспортного ресурсу шлюзів, отримаємо:

$$P_{RAGW1} = 32.5 \cdot 14.72 / 0.065 = 7360 \text{ пак/с};$$

- продуктивність за пакетами шлюзу MSAN 1.

$$P_{RAGW2} = 32.5 \cdot 37.054 / 0.065 = 18527 \text{ пак/с};$$

- продуктивність за пакетами шлюзу MSAN 2.

$$P_{RAGW3} = 32.5 \cdot 24.23 / 0.065 = 12115 \text{ пак/с};$$

- продуктивність за пакетами шлюзу MSAN 3.

$$P_{RAGW4} = 32.5 \cdot 26.86 / 0.065 = 13430 \text{ пак/с};$$

- продуктивність за пакетами шлюзу MSAN 4.

$$P_{RAGW5} = 32.5 \cdot 31.23 / 0.065 = 15615 \text{ пак/с};$$

- продуктивність за пакетами шлюзу MSAN 5.

$$P_{RAGW6} = 32.5 \cdot 38.48 / 0.065 = 19240 \text{ пак/с};$$

- продуктивність за пакетами шлюзу MSAN 6.

$$P_{RAGW8} = 32.5 \cdot 37.05 / 0.065 = 18525 \text{ пак/с};$$

- продуктивність за пакетами шлюзу MSAN 6.

## ВИСНОВКИ

У даній кваліфікаційній роботі було досліджено можливість проєктування мультисервісної мережі з наданням послуг Triple Play з використанням технології SDN.

Обрано обладнання компанії Huawei, оскільки компанія посідає провідне місце з виробництва стандартизованої та якісної продукції. А також вибір здійснювався за такими характеристиками: технічні характеристики системи, можливість застосування системи в Україні, вартість, надійність, висока якість і ефективність в експлуатації. Вибір обумовлений умовами технічних параметрів обладнання абонентського доступу. У розрахунковій частині кваліфікаційної роботи зроблено розрахунки обладнання гнучкого комутатора, продуктивності комутаторів пакетної мережі, абонентського навантаження та оцінку ефективності зв'язку.

Виконавши відповідні розрахунки для проєктованої Gigabit Ethernet мультисервісної мережі, приходимо до висновку, що проєктована мережа відповідає всім сучасним вимогам мереж нового покоління. Розрахунок пропускної спроможності каналів мережі показав, що ширина смуги пропускання каналів і обраний спосіб побудови мережі доступу повністю задовольняє вимогам щодо пропускання навантаження і розрахованого обсягу трафіку всіх інтерактивних сервісів проєктованої мережі.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. 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. Le Nir, M. Moonen and J. Verlinden, "Optimal Power Allocation under Per-Modem Total Power and Spectral Mask Constraints in XDSL Vector Channels with Alien Crosstalk," 2007 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing - ICASSP '07, Honolulu, HI, USA, 2007, pp. III-357-III-360.
3. 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.
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. "IEEE/ISO/IEC-International Standard-Telecommunications and exchange between information technology systems--Requirements for local and metropolitan area networks--Part 3:Standard for Ethernet AMENDMENT 6: Maintenance #13:Power over ethernet over 2 pairs," in ISO/IEC/IEEE 8802-3:2021/Amd.6:2021(E) , vol., no., pp.1-30, 2 Nov. 2021.
6. "IEEE/ISO/IEC Telecommunications and exchange between information technology systems -- Requirements for local and metropolitan area networks -- Part 3:Standard for Ethernet AMENDMENT 8: Physical layer specifications and management parameters for 2.5 Gb/s, 5 Gb/s, and 10 Gb/s automotive electrical ethernet," in IEEE/ISO/IEC 8802-3:2021/Amd8-2021 , vol., no., pp.1-210, 2 Nov. 2021.
7. Singh, M. Gupta, A. Raj, S. K. Gupta and M. S. Habeeb, "TWDM-PON: The Enhanced PON for Triple Play Services," 2020 5th IEEE International Conference on Recent Advances and Innovations in Engineering (ICRAIE), Jaipur, India, 2020, pp. 1-5.

8. N. Solihah and M. I. Nashiruddin, "Performance Evaluation of the 10 Gigabit Symmetric PON for Triple-Play Services," 2020 IEEE International Conference on Communication, Networks and Satellite (Comnetsat), Batam, Indonesia, 2020, pp. 136-143.
9. Lin, J. Ran, D. Deng, N. Zhang and J. Wang, "Research on Key-bytes Encryption Technology of SDH Channel," 2020 International Conference on Robots & Intelligent System (ICRIS), Sanya, China, 2020, pp. 207-209.
10. L. Ma, D. Li, D. Nan and L. He, "Troubleshooting and Maintenance of SDH Optical Transmission System," 2022 IEEE 6th Information Technology and Mechatronics Engineering Conference (ITOEC), Chongqing, China, 2022, pp. 1629-1632.
11. M. Santhiya, S. Saranya, S. Vijayachitra, C. B. Lavanya and M. Rajarajeswari, "Application of Voter Insertion Algorithm for Fault Management using Triple Modular Redundancy (TMR) Technique," 2021 Third International Conference on Intelligent Communication Technologies and Virtual Mobile Networks (ICICV), Tirunelveli, India, 2021, pp. 578-583.
12. Z. Zhan, L. Yu and Y. Wang, "LARGE JITTER AMPLITUDE CALIBRATION OF SDH TRANSMISSION ANALYZER BY WIDE BAND FM METHOD," The 8th International Symposium on Test Automation & Instrumentation (ISTAI 2020), Online Conference, 2020, pp. 229-233.
13. X. Guo, S. Su and H. Qian, "Scrambling Code Blind Identification in SDH Signal Intelligent Reception," 2021 2nd Information Communication Technologies Conference (ICTC), Nanjing, China, 2021, pp. 70-74.
14. Zhanggeng, Wangyang, Wangyanan, Xujian and Xumin, "Optimization of Power Communication Network Based on SDH Self-Healing Ring Network Technology," 2019 IEEE 5th International Conference on Computer and Communications (ICCC), Chengdu, China, 2019, pp. 1064-1068.