

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Інститут телекомунікаційних систем
(повна назва інституту/факультету)
Кафедра телекомунікацій
(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»
УДК _____

До захисту допущено
В.о. завідувача кафедри

_____ Явіся В.С.
(підпис) (ініціали, прізвище)
“ ” _____ 2019 р.

Магістерська дисертація
на здобуття освітнього ступеня «магістр»

Спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка,
(код і назва)

За освітньо-професійною програмою Інженерія та програмування інфокомунікацій.

на тему: «Методика побудови мереж доступу мультисервісної мережі»

Виконав (-ла): студент 2 курсу, групи ТЗ-381мп
(шифр групи)

Ігнатенко Валерій Олександрович
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Науковий керівник доцент, к.т.н. доцент Явіся В.С.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Консультант _____
(назва розділу) (науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Рецензент _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2019 рік

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Інститут телекомунікаційних систем

(повна назва)

Кафедра телекомунікацій

(повна назва)

Спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка

(код і назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою Інженерія та програмування інфокомунікацій.

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

Явіся В.С.

(підпис)

(ініціали, прізвище)

«__» _____ 2019 р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Ігнатенко Валерій Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації «Методика побудови мереж доступу мультисервісної мережі»

науковий керівник дисертації Доцент кафедри ТК, к.т.н, доцент Явіся

Валерій Сергійович, затверджені наказом по університету від «_07_» «_11_»

2019р. № _3854-с_

2. Строк подання студентом дисертації _____

3. Об'єкт дослідження Принцип роботи та побудови мереж доступу мультисервісних мереж

4. Предмет дослідження Технології реалізації високошвидкісних мереж доступу мультисервісних мереж

5. Перелік завдань, які потрібно розробити

1. _____ Пр
овести аналіз перспективних методів побудови мереж доступу мультисервісних мереж.

2. _____ Пр
оаналізувати способи реалізації мереж доступу мультисервісних мереж.
3. _____ Об
рати оптимальні підходи для розгортання досліджуваних систем.
4. _____ Роз
робити стартап-проект.

6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу

1. _____ Т
ема, мета, об'єкт та предмет дослідження;
2. _____ Т
єрабітні системи передачі;
3. _____ М
етоди побудови мереж доступу;
4. _____ Т
ехнологія flex-grid;
5. _____ Р
озробка методики побудови мереж доступу;
6. _____ За
гальні висновки до роботи;

7. Орієнтовний перелік публікацій _____ _____ _____

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

9. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Аналіз перспективності даного дослідження	01.09.2018 – 30.10.2018	
2	Вивчення мультисервісних мереж	01.11.2018 – 30.12.2018	
3	Вивчення архітектури мережі NGN	01.01.2019 – 30.02.2019	
4	Аналіз підходів до побудови мереж	01.03.2019 – 30.04.2019	

	доступу		
5	Розгляд основних алгоритмів технології	01.05.2019 – 30.06.2019	
6	Збір та аналіз результатів	01.07.2019 – 30.08.2019	
7	Формування тез для доповіді на конференції	01.09.2019 – 30.11.2019	

Студент

(підпис)

(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

(підпис)

(ініціали, прізвище)

РЕФЕРАТ

Тема роботи: Методика побудови мереж доступу мультисервісної мережі.

Текстова частина дипломної роботи: с.95, рис. 43, джерел 16.

Метою написання магістерської дисертації є дослідження методів побудови мереж доступу мультисервісних мереж.

При написанні магістерської дисертації були поставлені такі завдання:

1. Виконати огляд літератури по темі дослідження;
2. Вивчити особливості побудови суперканалів зв'язку як перспективного напрямку побудови мультисервісних мереж;
3. Виконати дослідження DWDM з оптичними суперканалами на основі технології flex grid для побудови мультисервісних мереж доступу.

Об'єктом дослідження є побудова системи передачі.

Предметом дослідження є мультисервісна мережа з оптичними суперканалами.

Проведено огляд існуючих способів реалізації систем встановлено використання яких є більш доцільним. Було проаналізовано ряд підходів до побудови мереж доступу. Розглянуто методи реалізації мультисервісних мереж, зважаючи на доцільність.

Ключові слова: мультисервісна мережа, мережа доступу, оптичний канал, швидкість передачі даних, модуляція.

ABSTRACT

R&D: Technique of construction of access networks of multiservice network.

Text part of the thesis: p.97, fig. 43, sources 16.

The purpose of writing a master's thesis is to investigate methods for building access networks for multiservice networks.

When writing a master's thesis the following tasks were set:

1. Review the literature on the topic of research;
2. To study the peculiarities of construction of super-communication channels as a promising direction of construction of multiservice networks;
3. Perform DWDM research with optical superchannels based on flex grid technology to build multi-service access networks.

The object of the study is to build a transmission system.

The subject of the study is a multi-service network with optical superchannels.

The review of existing ways of implementation of the systems is conducted, the use of which is more expedient is established. A number of approaches to building access networks have been analyzed. The methods of realization of multiservice networks are considered, considering the expediency.

Keywords: multiservice network, access network, optical channel, data rate, modulation.

ЗМІСТ

ВСТУП	10
РОЗДІЛ 1 ОСОБЛИВОСТІ ПОБУДОВИ МУЛЬТИСЕРВІСНИХ МЕРЕЖ ...	13
1.1 Розвиток мультисервісних мереж	13
1.2 Особливості побудови терабітних систем передачі. Структурна схема системи передачі мультисервісних мереж	14
1.3 Оптичні волокна для суперканалів зв'язку мультисервісних мереж	22
1.4 Розвиток DWDM-обладнання для побудови мультисервісних мереж.....	35
1.5 Збільшення символної швидкості і ускладнення формату модуляції	37
1.6 Висновки по розділу	54
РОЗДІЛ 2 АНАЛІЗ ПОБУДОВИ ІСНУЮЧИХ МЕРЕЖ ДОСТУПУ	56
2.1 Аналіз технологій побудови існуючих мереж доступу.....	56
2.2 Особливості впровадження технології flex-grid	62
2.3 Методологія планування мереж на основі технології flex-grid.....	65
2.4 Розрахунок оптичного каналу DWDM системи	70
2.5 Порівняльна характеристика методів побудови мереж доступу	77
2.6 Висновки до розділу	83
РОЗДІЛ 3 МЕТОДИКА ПОБУДОВИ МЕРЕЖ ДОСТУПУ МУЛЬТИСЕРВІСНОЇ МЕРЕЖІ	84

					КПІ ім. Ігоря Сікорського 3854-с 03.ТЗ-							
З	Л	№ докум.	Підп	Д								
Розроб.	Ігнатенко				Методика побудови мереж доступу мультисервісної мережі			Літ.	Арк.	Акрушів		
Перевір.	Явіся В.С							6	95			
Реценз.								ІТС				
Н.	Петрова											
Затверд.	Явіся В.С.											

ВИСНОВКИ.....	92
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	94

					КШ ім. Ігоря Сікорського3854-с03.ТЗ-	Арк.

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

IP - Internet Protocol

FEC – Forward Error Correction, завадостійке кодування

HD FEC - hard decision FEC

SD FEC - soft decision FEC

DP-QPSK - Dual-polarization quadrature phase shift keying

PM-QPSK - Polarization multiplexed-quadrature phase shift keying

DWDM - Dense Wavelength Division Multiplexing

ATM - asynchronous transfer mode, асинхронный способ передачи данных

QoS - quality of service

ITU-T - Международный консультационный комитет по телефонии и телеграфии

IEEE - Институт инженеров электротехники и электроники

ОК - оптичні конвертори

ТС – термінальна станція

КТЧ – тональна частота

ОЦК – основний цифровий канал

WDM - Wavelength Division Multiplexing, Спектральное уплотнение каналов

OTN - Optical Transport Network

SDH - Synchronous Digital Hierarchy

TP-MPLS - Transport Multiprotocol Label Switching

ЧПК – частотний поділ каналів

СЦІ – синхронна цифрова ієрархія

ОТІ - оптична транспортна ієрархія

ОТС - оптична транспортна мережа

ВОСП – волоконно-оптична ліній передач

EDFA - Erbium Doped Fiber Amplifier

DSF - оптичне волокно зі зміщеною дисперсією

NZDSF - волокно з ненульовою зміщеною дисперсією

BPSK – двійкова фазова маніпуляція
QPSK – квадратурна фазова маніпуляція
8PSK – восьмикратна фазова модуляція
16QAM – 16 позиційна квадратурно-амплітудна модуляція
64QAM - 64 позиційна квадратурно-амплітудна модуляція
DSP - Digital signal processing
SDM – просторове розділення каналів
MCF – багатожильне волокно
FMF – волокно з декількома модами
MMF - Multi-mode optical fiber
FOM - fiber-optic multiplexers
OTN - Optical Transport Network
ADSL - Asymmetric Digital Subscriber Line
DSL - Digital Subscriber Line
VDSL - Very high speed Digital Subscriber Line
SHDSL - Single-pair High-speed Digital Subscriber Line
VLAN - Virtual Local Area Network
DSLAM - Digital Subscriber Line Access Multiplexer
NGN - new generation networks
SOA - service-oriented architecture
VPN - Virtual Private Network
MPLS - multiprotocol label switching
RPR - Resilient Packet Ring
Wi-Fi - Wireless Fidelity
WiMAX - Worldwide Interoperability for Microwave Access
IETF - Internet Engineering Task Force
CAPEX - capital expense
OPEX - operating expense
flexgrid (Elastic Optical Networking)
FTTH - Fiber To The Home
PON - Passive optical network

GPON - Gigabit Passive Optical Network

ВСТУП

Актуальність теми. Використання даних самого різного формату стало невід'ємною складовою діяльності. Телефонний зв'язок, відеоспілкування, електронна пошта, передача даних через Інтернет застосовуються при взаємодії організації із зовнішніми контрагентами, в процесі функціонування бізнес-процесів, в рамках вироблення управлінських рішень керівництвом підприємства.

Все це веде до розростання різномірної мережевої інфраструктури і збільшення витрат на її утримання. Виходом зі сформованої ситуації є створення мультисервісної мережі.

Мультисервісна мережа - це універсальне багатоцільове середовище, призначене для передачі мови, зображення і даних з використанням технології комутації пакетів (IP). В результаті єдина інфраструктура служить для передачі інформації самого різного формату.

З технічної точки зору мультисервісна мережа являє собою сукупність мережевого устаткування, що дозволяє найбільш ефективно організувати взаємодію кінцевих пристроїв мережі між собою. Подібний підхід дозволяє значно скоротити кількість каналів зв'язку і, як наслідок, знизити витрати на створення і підтримку мережевої інфраструктури.

Той факт, що замість кількох різних інфраструктур потрібно керувати однією, обумовлює істотне зниження витрат на обслуговування і зменшення штату обслуговуючого персоналу. Мультисервісна мережа охоплює від декількох десятків користувачів в мережі малого підприємства чи віддаленого офісу компанії до декількох сотень тисяч абонентів в мережі великої корпорації.

Вибір оптимального варіанту побудови корпоративної мультисервісної мережі багато в чому визначається територіальною специфікою, пов'язаною з необхідністю об'єднати віддалені філії. Використання перевірених на

практиці архітектурних рішень забезпечує високу надійність і масштабованість інформаційної системи. Крім того, технології управління якістю обслуговування, генетично властиві мультисервісним мережам, необхідні не тільки для передачі голосового і відеотрафіка, але і для забезпечення безперебійної роботи чутливих до тимчасових затримок бізнес-додатків.

Інвестиції в мережеву інфраструктуру дозволяють оптимізувати процес управління підприємством і знизити ризики, пов'язані з роботою критично важливих для бізнесу інформаційних систем.

Телефонний зв'язок був і залишається критично важливою частиною інфраструктури будь-якого підприємства. Розвиток корпоративних систем телефонного зв'язку в даний час відбувається на основі технологій IP-телефонії.

Такі можливості як організація конференцій, відеотелефонія, уніфікований обмін повідомленнями, інтерактивні голосові меню, інформаційні сервіси на телефонах і багато інших перетворюють мережу зв'язку в потужний інструмент підвищення продуктивності праці на підприємстві.

В даний час зростають потреби в обміні інформацією. За останні 15 років змінилося три покоління каналоутворюючого обладнання (від 2,5G - до 10G, 40G, 100G) з обов'язковим переходом на більш розвинену технологію FEC (HD FEC, Super FEC, Soft FEC).

Магістральні системи 100G з форматом модуляції DP-QPSK, схоже, стали вершиною розвитку волоконно-оптичних систем зв'язку і мультисервісних мереж за базовим параметром - продуктивністю (добуток дальності передачі і спектральної ефективності).

Однак постійне зростання трафіку, а також бурхливий розвиток дата-центрів диктують необхідність подальшого розвитку систем передачі, причому необов'язково за рахунок підвищення продуктивності.

Очевидно, що оптоволоконні мережі майбутнього повинні мати високу пропускну здатність в рамках технології для встановленого обсягу витрат, не

жертвуючи при цьому протяжністю оптичних мереж або підсумковою пропускною спроможністю світловода.

Сьогодні за еталон пропускної здатності мережах прийняті швидкості понад 100 Гбіт / с - швидкість передачі даних, до досягнення якої привів ряд удосконалень в сфері оптоволоконного зв'язку, а саме:

- фазова модуляція високого порядку (зазвичай квадратурна фазова маніпуляція або PM-QPSK);
- когерентне детектування.

Розширена цифрова обробка сигналу є пристроєм одержувача, яка компенсує виникають спотворення;

- упереджувальна корекція помилок з великим коефіцієнтом посилення (FEC), включаючи програмно-керовану FEC. Дана корекція здатна забезпечити посилення до 11 дБ на стандартному інтервалі.

Метою написання магістерської дисертації є дослідження методів побудови мереж доступу мультисервісних мереж.

При написанні магістерської дисертації були поставлені такі завдання:

1. Виконати огляд літератури по темі дослідження;
2. Вивчити особливості побудови суперканалів зв'язку як перспективного напрямку побудови мультисервісних мереж;
3. Виконати дослідження DWDM з оптичними суперканалами на основі технології flex grid для побудови мультисервісних мереж доступу.

Об'єктом дослідження є побудова системи передачі.

Предметом дослідження є мультисервісна мережа з оптичними суперканалами.

РОЗДІЛ 1 ОСОБЛИВОСТІ ПОБУДОВИ МУЛЬТИСЕРВІСНИХ МЕРЕЖ

1.1 Розвиток мультисервісних мереж

Мультисервісна мережа - це єдина пакетна мережа, яка здатна передавати голос, відео і дані з використанням єдиної інфраструктури.

Основним стимулом до появи і розвитку цих мереж була підтримка складних мультимедійних програм, зменшення вартості обладнання мережі та його обслуговування. Концепція включає в себе кілька таких аспектів [1]:

- 1) конвергенція завантаження мережі, яка визначає передачу різнотипного трафіку за допомогою єдиного формату представлення даних (пакети)
- 2) конвергенція протоколів, яка передбачає перехід від великої кількості різнотипних протоколів до одного спільного (наприклад, IP)
- 3) фізична конвергенція, яка передбачає використання єдиної мережевої інфраструктури для передачі різних типів трафіку;
- 4) конвергенція пристроїв, яка призводить до інтеграції в одному корпусі обладнання комутації (Ethernet і АТМ) і маршрутизації IP.

На додаток до цього, пристрої можуть виконувати функції по обробці даних і підтримувати пакетну телефонію.

Всі ці, а також багато інших переваг мультисервісної мережі були покладені в основу концепції мереж наступних поколінь.

Мережа наступних поколінь - це мережа з пакетною комутацією, яка придатна для надання послуг електрозв'язку і для використання декількох широкосмугових технологій транспортування з активним з'єднанням QoS, в якій пов'язані з обслуговуванням функції не залежать від застосованих технологій, що забезпечують транспортування [2,3].

Також система забезпечує вільний доступ користувачів до мереж конкуруючих постачальників послуг і до послуг. Підтримує універсальну мобільність, яка забезпечує постійне і повсюдне надання послуг зв'язку.

Для задоволення вищевказаних вимог архітектура мережі передбачає використання пов'язаних між собою кількох груп функцій, взаємодія між якими визначає функціональну архітектуру мережі.

Вона включає наступні принципи [4]:

1) підтримка численних технологій доступу з метою формування гнучкості на мережах доступу

2) розподілене управління, необхідне для адаптації до розподіленої природі мереж з комутацією пакетів і підтримки прозорості розташування при розподілених обчисленнях;

3) відкрите управління, яке вимагає відкритості обладнання контролю мережі з метою підтримки можливості створення послуг, відновлення й інші види зв'язку сервісних послуг третіми особами;

4) покращений захист і безпеку як базовий принцип відкритої архітектури для захисту інфраструктури мережі шляхом використання відповідних механізмів.

Однією з вимог мультисервісних мереж наступного покоління є зв'язність (connectivity, англ.) - прямо або за допомогою інших мереж.

1.2 Особливості побудови терабітних систем передачі. Структурна схема системи передачі мультисервісних мереж

В даний час опубліковано в зарубіжній і вітчизняній велике число наукових і технічних статей, монографій, дисертаційних досліджень в області розробки терабітних і петабітних систем передачі [5].

Всі публікації можна умовно розбити на три блоки (рисунок 1.1):

- стандартні рішення для систем передачі і оптичних мереж, які отримали схвалення в рекомендаціях ITU-T, IEEE і реалізовані у вигляді

інтерфейсів (наприклад, 1000BASE-LR4 і 1000BASE-ER4) і універсальних транспортних платформ (наприклад, Alcatel-Lucent 1850TSS, Cisco 15454- M-12);

- експериментальні системи передачі з перспективою найближчого за часом впровадження (наприклад, на швидкості в оптичному каналі 224 Гбіт / с, 448 Гбіт / с, 1 Тбіт / с);

- плановані, що знаходяться в стадії теоретичних і експериментальних розробок (наприклад, системи з волокнами MCP, EME).

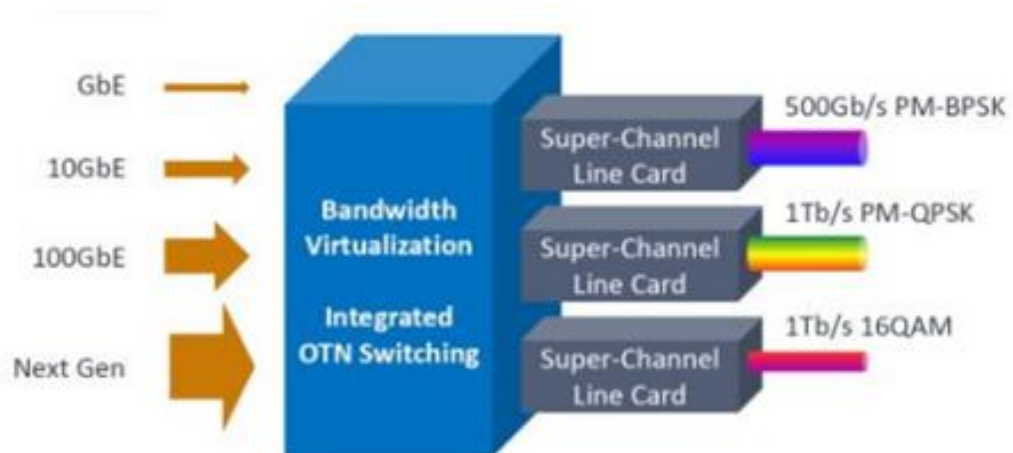


Рис.1.1. Розробка терабітних і петабітних систем передачі

Стандартні рішення для оптичних каналів мають перевірену ринком затребуваність і призначені для масової реалізації в мережах загального користування [1].

Практичні рішення розрізняються виконанням (рисунок 1.2) і можливостями по дальності передачі, швидкості передачі, числом спектральних каналів.

Основні тренди по застосовності терабітних систем представлені на рисунку 1.2, з яких стає явним, що при використанні стандартних волокон можна отримати: для протяжних оптичних каналів граничною швидкістю в стандартних волокнах буде 6 Тбіт / с при простому форматі кодування QPSK; для ліній середньої протяжності (від 1000 км до 4000 км) обмеження по швидкості складе 12 Тбіт / с при форматах кодування QPSK, 8QAM; для коротких (місцевих) оптичних ліній (до 500 км) швидкісний режим наближається до 24 Тбіт / с [1].

1x 100G Client	1x 100G (DQPSK) @ 33GHz	2x 50G (BPSK) SC @ 33GHz	2x 50G (BPSK) SC @ 33GHz
2x 100G Clients	2x 100G (DQPSK) SC @ 33GHz	1x 200G (16QAM) @ 33GHz	1x 200G (16QAM) @ 33GHz
5x 100G Clients	5x 100G (DQPSK) SC @ 33GHz	2x 200G (16QAM) + 1x 100G (DQPSK) @ 33GHz	2x 250G (16QAM) @ 35GHz
10x 10G Clients	1x 100G (DQPSK) @ 33GHz	1x 100G (DQPSK) @ 33GHz	1x 100G (DQPSK) @ 33GHz
20x 10G Clients	2x 100G (DQPSK) SC @ 33GHz	1x 200G (16QAM) @ 33GHz	1x 200G (16QAM) @ 33GHz

Рис.1.2. Стандартні рішення Cisco для оптичних каналів

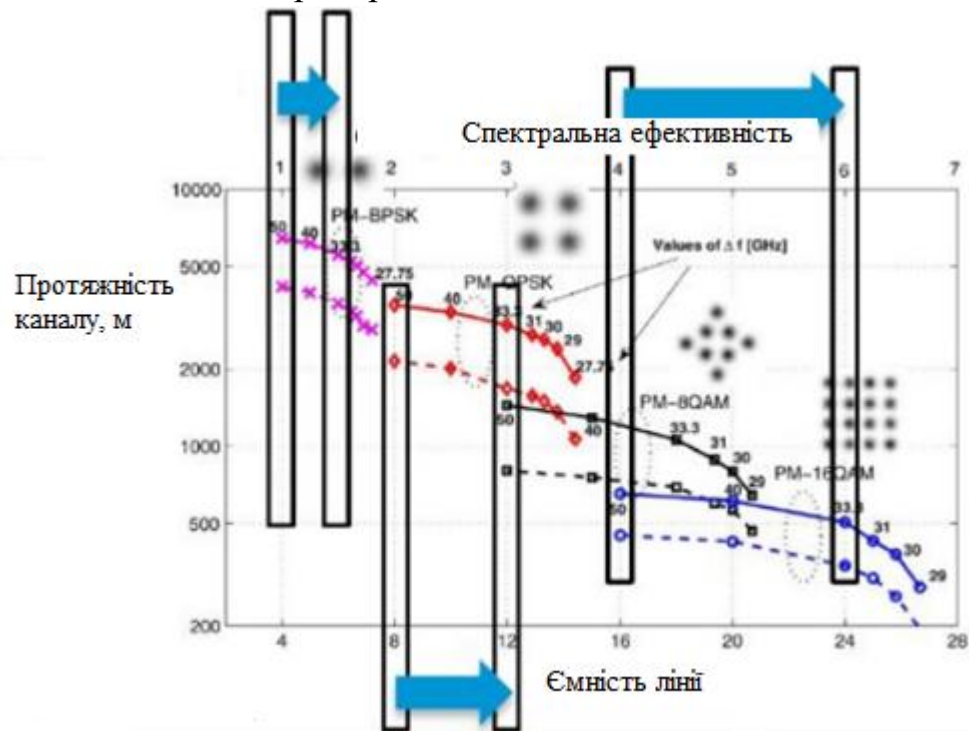


Рис.1.3. Тренди розвитку систем з терабітними швидкостями

Як відомо, під системою передачі прийнято розуміти комплекс технічних засобів, що забезпечують створення лінійного тракту, типових групових трактів і каналів передачі первинної мережі (рисунок 1.4).

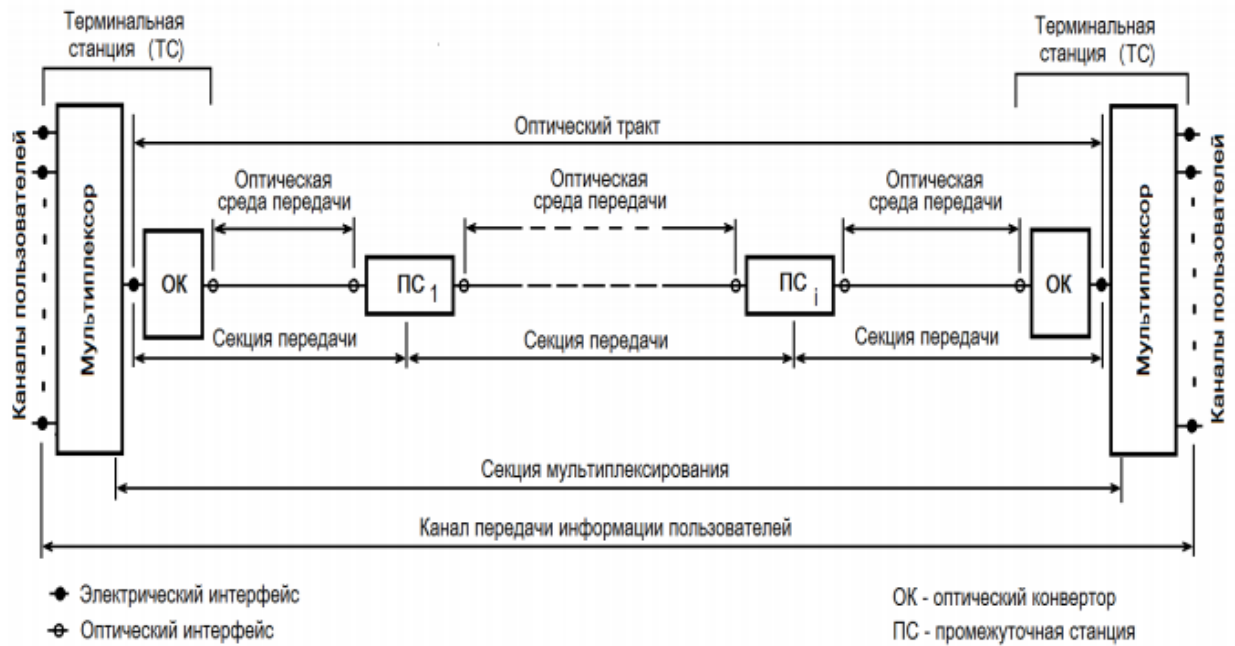


Рис.1.4. Структурна схема оптичної системи передачі. Джерело [1]

Узгодження між електронним обладнанням та оптичним середовищем передачі в оптичній системі забезпечують оптичні конвертори (ОК), які також називають автоматизацією виробництва.

Проміжні станції в оптичному лінійному тракті можуть бути представлені як оптичними пристроями, наприклад, оптичними підсилювачами сигналів, так і комплексними виробами з ОК і електронними схемами підсилювачів і регенераторів оптичних сигналів.

У термінальних станціях (ТС), які, як правило, розміщуються в мережевих вузлах або мережевих станціях, створюються апаратними та програмними засобами групові тракти і канали передачі інформації користувачів. При цьому в складі групового тракту може перебувати від одного до декількох десятків і сотень каналів користувачів.

Групові тракти і канали об'єднуються в секції мультиплексування в сигнал оптичного тракту. Такі сигнали також називаються агрегованими (збірними), так як до них додаються службові канали з метою підтримки технічної експлуатації середовища передачі,

Тракт груповий являє собою комплекс технічних засобів, призначений для передачі сигналів електровз'язку нормалізованого числа каналів,

наприклад, тональної частоти (КТЧ) або основних цифрових каналів (ОЦК), в смузі частот або зі швидкістю передачі, що відповідає даному груповому тракту. Залежно від нормалізованого числа каналів груповий тракт називають первинним, вторинним, третинним або N-им.

У системах передачі під каналом передачі прийнято розуміти комплекс технічних засобів і середовища поширення, що забезпечує передачу сигналів електрозв'язку в певній смузі частот (наприклад, оптичний спектральний канал зі смугою 50 ГГц) або з певною швидкістю передачі (наприклад, ОЦК 64 кбіт / с) між мережевими станціями, мережевими вузлами або між мережевою станцією і мережевим вузлом, а також між мережевою станцією або мережевим вузлом і кінцевим пристроєм первинної мережі. Канали підрозділяються на аналогові і цифрові.

З огляду на те, що в сучасних оптичних системах передачі переважно використовується волоконно-оптичний кабель з кварцовими волокнами, що мають широку смугу пропускання сигналів (приблизно від 5 ТГц до 60 ТГц), а швидкості цифрових систем передачі досягли тільки величин в 100 Гбіт / с, актуальним є використання принципу спектрального ущільнення волокон.

При цьому в одному волокні, але частіше в парі волокон, можна організувати передачу одночасно десятків і сотень окремих цифрових сигналів на окремих оптичних несучих частотах (рисунок 1.5).

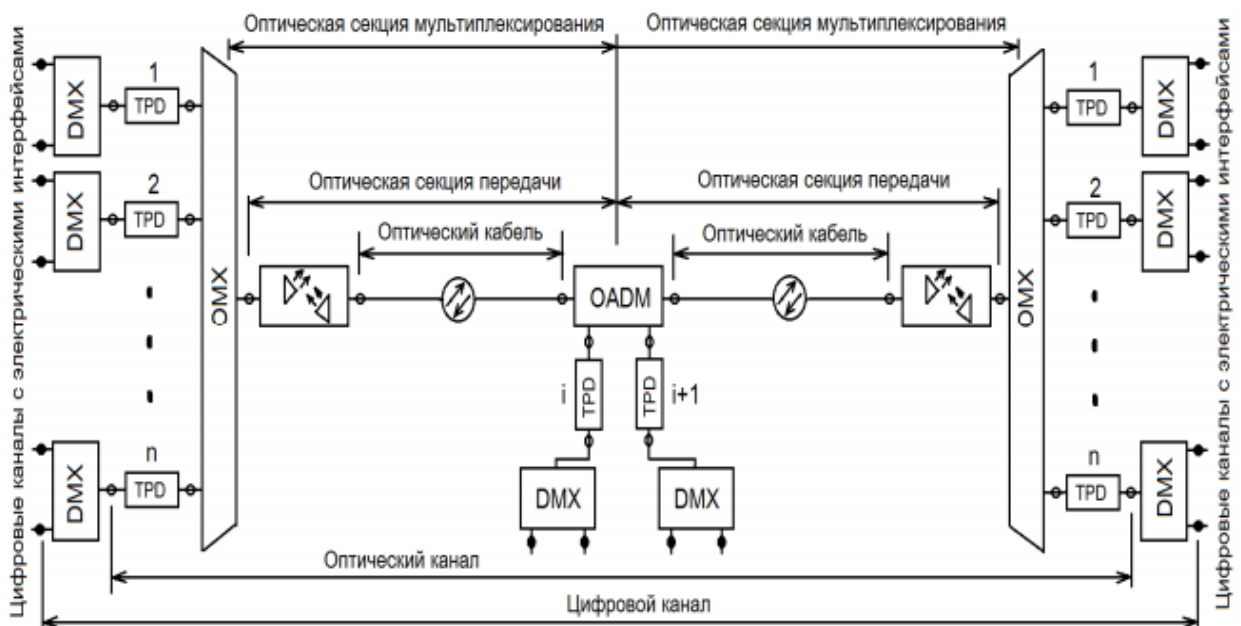


Рис.1.5. Структура багатоканальної оптичної системи передачі WDM.

Джерело [1]

Крім стандартизації частот оптичних каналів, в системах передачі стандартизовані і точки взаємодії між окремими компонентами систем - інтерфейси, які поділяються на оптичні і електричні.

У цих точках нормуються фізичні і логічні (протокольні) характеристики взаємодії, наприклад, тип волоконного світловода, величина загасання і дисперсії, протокол передачі (OTN, SDH, Ethernet, TP-MPLS) і т. д. У сучасних оптичних системах передачі реалізуються різні технології мультиплексування, які можна визначити як цифрові і аналогові.

До аналогових відносяться технології мультиплексування оптичних хвиль WDM і аналогових каналів з частотним поділом (ЧПК), прикладами яких можна вважати телевізійні канали, розподілені в діапазоні частот від 40 МГц до 860 МГц для мереж кабельного телебачення.

У сімействі цифрових технологій мультиплексування існують підрозділи по циклічній і пакетній передачам. Цифрові сигнали з циклічною передачею мають різні ієрархії (рисунок 1.6):

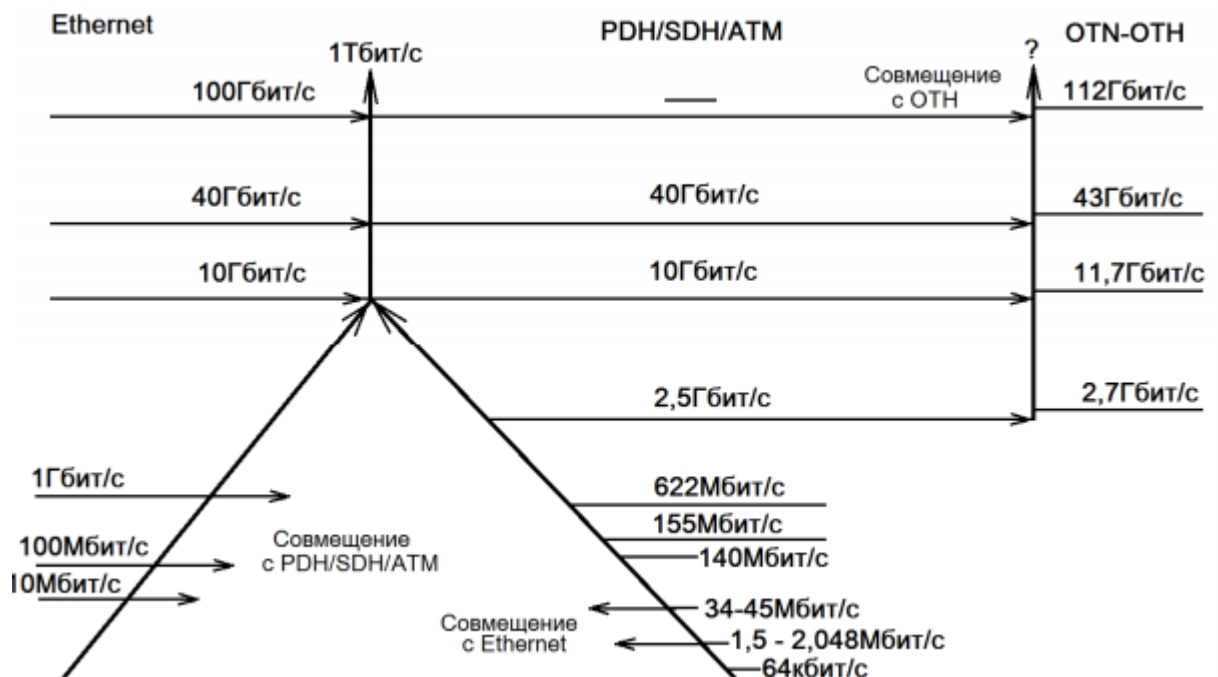


Рис.1.6. Ієрархії цифрових сигналів з циклічною передачею. Джерело [1] - синхронна цифрова ієрархія СЦІ-SDH (Synchronous Digital Hierarchy);

- оптична транспортна ієрархія OTI-OTN (Optical Transport Hierarchy), призначена для побудови оптичних транспортних мереж OTC-OTN (Optical Transport Network).

Ієрархічність пов'язана зі швидкісними режимами, довжинами циклів і їх структурами. Ключовим поняттям в цих ієрархіях є вид мультиплексування: плезіохронний, синхронний, оптичний, де останній вказує на поєднання електричного і оптичного мультиплексування.

Цифрові сигнали з пакетною передачею формуються спочатку у вигляді пакетів з фіксованою ємністю асинхронного режиму передачі АТМ (Asynchronous Transfer Mode) в 53 байта або із змінною ємністю Ethernet від 64 до 1500 байт. Формування пакетів, як правило, пов'язане з необхідністю перенесення інформаційного трафіку, тобто коли є трафік, тоді і формуються пакети.

З огляду на те, що трафік випадковий, то і поява пакетів для передачі також випадково.

З цієї причини використовується статистичне мультиплексування з вибудовуванням черги на передачу з цілком певною швидкістю, наприклад для Ethernet, 10 Мбіт / с, 100 Мбіт / с, 1000 Мбіт / с і т. д [1].

Для ефективного використання каналів і трактів оптичних систем передачі передбачені алгоритми суміщення різних технологій мультиплексування, наприклад, цикли PDH можуть розміщуватися в структурах SDH і Ethernet, а пакети Ethernet на швидкостях до 100 Гбіт / с можуть розміщуватися в циклах OTN і т. д.

У одноканальних ВОСП і багатоканальних WDM можливе використання некогерентного і когерентного принципів передачі. Як правило, некогерентна передача сигналів використовується в оптичних каналах на швидкості до 10 Гбіт / с з прямою або зовнішньою модуляцією оптичного випромінювання одномодового лазера і прямим детектуванням лінійного оптичного сигналу на прийомі відносно (рисунок 1.7).

При цьому для збільшення дальності передачі оптичних сигналів в волоконній лінії використовуються оптичні підсилювачі, наприклад, волоконні EDFA (Erbium-Doped Fiber Amplifier).

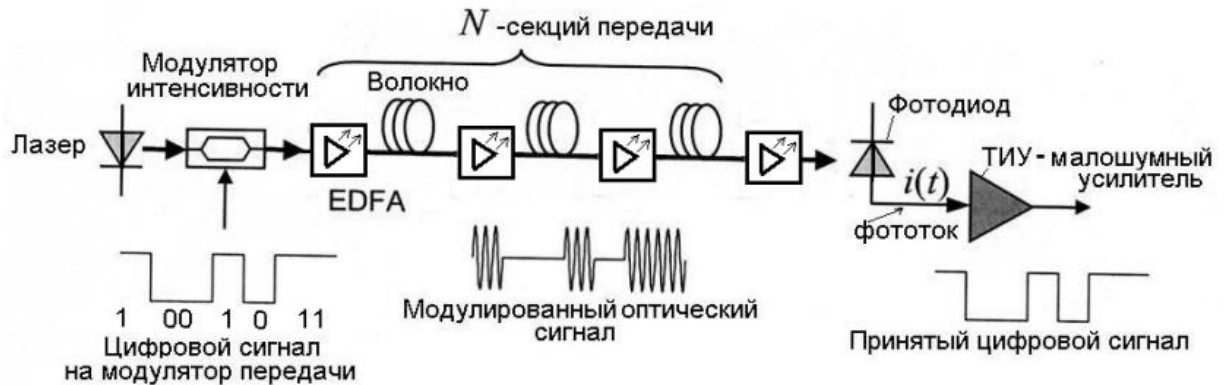


Рис.1.7. Структурна схема ВОСП некогерентного типу Джерело [1]

У структурі ВОСП когерентного типу (рисунок 1.8) принципові відмінності укладені в структурі передавача і приймача при збереженні аналогічних функцій лінійного тракту з оптичним посиленням.

У передавачі замість модуляції інтенсивності оптичного випромінювання лазера застосована модуляція фази випромінюваних оптичних імпульсів спеціально закодованим цифровим сигналом, який дозволяє при певних видах кодування обмежити смугу частот оптичного модульованого сигналу, що дозволяє нарощувати швидкість передачі інформаційних сигналів на оптичній хвилі λ , не піклуючись про зміну інтервалу між сусідніми λ і компенсацією дисперсійних спотворень.

Крім того, вибір кодування може знизити або взагалі виключити з спектра модульованого сигналу оптичну несучу, що знизить загальну інтенсивність всіх λ скловолокна і тим самим зменшить або виключить зі спектра продукти нелінійних ефектів.

Продукти нелінійності разом з шумами спонтанної емісії EDFA накопичуються в протяжних лініях і збільшують ймовірність помилок при декодуванні цифрового сигналу [2].

Зменшення продуктів нелінійності і обмеження смуги частот модульованого сигналу дозволяють будувати більш протяжні оптичні лінії без проміжних станцій. Однак найбільший ефект для збільшення протяжності оптичної передачі дає когерентний прийом.

Для його реалізації на приймальній стороні системи передачі використовується додатковий оптичний генератор - гетеродин, що дозволяє істотно підвищити чутливість приймача і тим самим збільшити енергетичний потенціал системи в цілому [1].

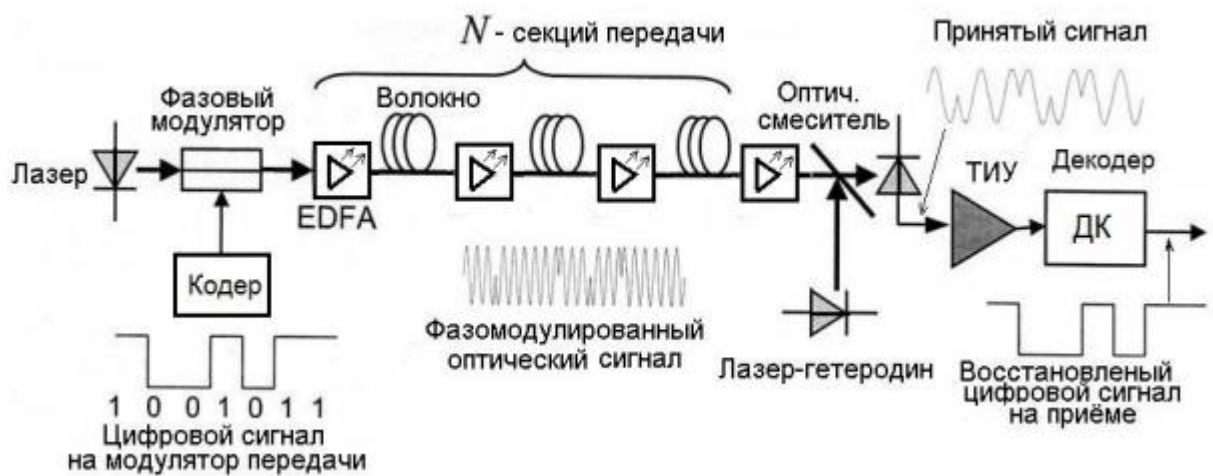


Рис.1.8 Структурна схема ВОСП когерентного типу. Джерело [1]

При цьому під енергетичним потенціалом розуміють різницю між максимальним рівнем потужності, що вводиться в волокно оптичного модульованого випромінювання і мінімальним рівнем потужності цього випромінювання на вході фотодетектора, при якому зберігається задана ймовірність помилки цифрового сигналу. Ймовірність помилки залежить від співвідношення сигнал / шум. Чим більше секцій передачі з підсилювачами, тим менше це співвідношення.

1.3 Оптичні волокна для суперканалів зв'язку мультисервісних мереж

Розвиток систем передачі представлено чотирма поколіннями. Волоконно-оптичні системи 1-го покоління використовували багатомодове

оптичне волокно і світловипромінюючі діоди, що працюють на довжині хвилі 850 нм.

Перевагою багатомодових волокон є те, що вони мають велике ядро і високу числову апертуру, тому передача світла від джерела по волокну, зрощування і з'єднання волокон не представляє складності. Однак, багаторічне волокно має істотне обмеження смуги пропускання через інтермодальну дисперсію [3].

Одним із способів, який дозволяє усунути таку дисперсію є використання одномодового оптичного волокна. З розвитком напівпровідникових лазерів і відкриттям довгохвильових вікон прозорості разом з розробкою технології зрощування одномодових волокон в кінці 1970-х, побудова одномодових волоконних систем передачі стала можливою. Волоконно-оптичні системи передачі другого покоління використовували стандартне одномодове волокно і одномодові лазери, що працюють на довжині хвилі 1310 нм.

Коли проводиться розрахунок загасання в оптичному волокні, можна побачити, що загасання на довжині хвилі 1310 нм менше, ніж на довжині хвилі 850 нм. До того ж, стандартне одномодове волокно показує майже нульову дисперсію в цьому діапазоні хвиль [3].

Загасання одномодового оптичного волокна є найменшим у вікні прозорості на довжині 1550 нм. Однак хроматична дисперсія в стандартному одномодовому волокні в цьому вікні є дуже високою (+ 17пс / км / нм), що є обмеженням для систем з високою швидкістю передачі даних.

Для того щоб скористатися перевагою найнижчого загасання в цьому вікні прозорості, був розроблений новий тип волокна, який відомий як оптичне волокно зі зміщеною дисперсією (DSF), чия хроматична дисперсія мінімальна при довжині хвилі 1550 нм.

Цей ефект дозволяє використовувати звичайні лазери, що мають відносно велику спектральну ширину в кілька нанометрів, що робить можливим використання волоконно-оптичних систем передачі третього покоління на довжині хвилі 1550 нм.

Оптичні волокна зі зміщеною дисперсією були оптимізовані для передачі по одному каналу на довжині хвилі 1550 нм. Раніше дана технологія широко застосовувалася в реальних телекомунікаційних системах в кінці 1980-х, нові переваги лазерів, посилених ербієм і технології спектрального мультимплексування зробили багатоканальну передачу застосовною для четвертого покоління волоконно-оптичних систем передачі з високою пропускною здатністю.

Характеристики оптичних світловодів представлені на рисунку 1.9.

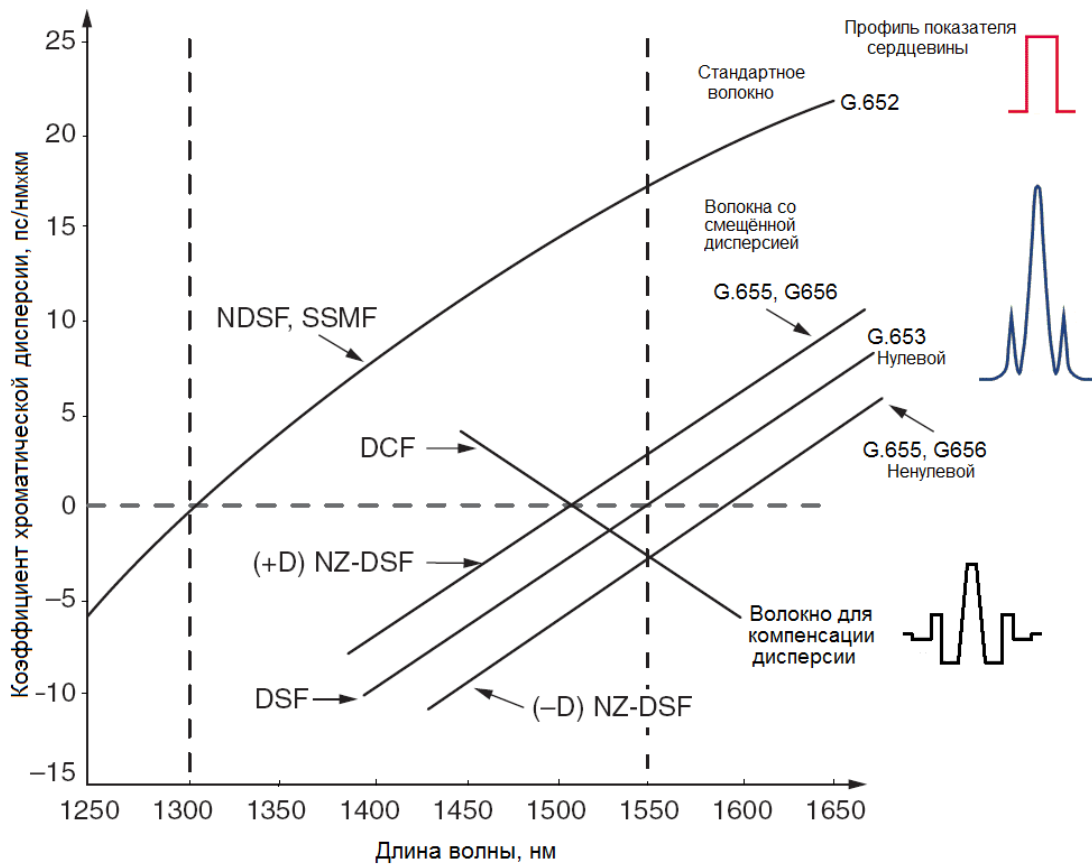


Рис.1.9. Характеристики оптичних світловодів Джерело [1]

Незабаром було виявлено, що волокно зі зміщеною дисперсією, зі значенням дисперсії рівним нулю на довжині хвилі 1550 нм не підходить для WDM передачі.

Це відбувається через нелінійні ефекти чотирьоххвильового зміщення, яке є найбільш сильним, коли дисперсія дорівнює нулю, що є причиною значних перехресних перешкод між двома сусідніми каналами.

Щоб зменшити ефект чотирьоххвильового зміщення вигідно мати певне значення дисперсії. З іншого боку, дисперсія повинна бути невеликою, щоб мінімізувати штраф на дисперсію.

Тому була запропонована концепція волокна з ненульовою зміщеною дисперсією (NZDSF). Звичайне значення дисперсії для NZDSF знаходиться в діапазоні 3-8пс / нм / км на довжині хвилі 1550 нм з ефективною площею (площа поля моди) близько 50мк². Так як нелінійні ефекти обернено пропорційні ефективній площі волокна, збільшення ефективної площі буде зменшувати подальші нелінійні ефекти.

Для збільшення ефективної площі, профілі оптичного волокна розробляються з великою ефективною областю близько 72 мкм².

NZDSF знайшли широке застосування в мережах WDM з високою пропускною здатністю по всьому світу.

Метод WDM відкрив нові можливості для збільшення швидкості передачі даних шляхом збільшення числа довжин хвиль в каналі [3].

Паралельно з розвитком WDM технології, швидкість передачі в каналі збільшилася відповідно до зростаючих вимог до смуги пропускання. Швидкість передачі в каналі збільшилася з 2,5 Гбіт / с до 10 Гбіт / с, а потім і до 40 Гбіт / с при використанні модуляції інтенсивності і прямого детектування (виявлення).

З тривалим зростанням швидкості пропускання в каналі, когерентні технології привернули до себе великий інтерес в останні роки. Когерентне виявлення дозволяє закодувати інформацію з двома ступенями свободи, що збільшує кількість інформації в каналі. Так само це дозволяє інтегрувати функцію цифрової обробки сигналів в когерентний приймач і отримати цифровий приймач.

З когерентним технологіями виявлення були запропоновані передові формати модуляції, такі як BPSK, QPSK, 8PSK, 16QAM і більш високі рівні цих форматів модуляції, що дозволило збільшити пропускну здатність каналу до 100 Гбіт / с.

Когерентне детектування в сукупності з DSP (цифровою обробкою сигналів) можуть обробляти сигнали, ослаблені хроматичною та поляризаційно-модовою дисперсією. Ця нова системна технологія змінила конструкцію волокна на користь волокон з меншими втратами і більшою ефективною площею, що може зменшити погіршення передачі через нелінійні ефекти.

Поки триває вдосконалення стандартних волоконно-оптичних технологій, в короткі терміни буде збільшуватися системна потужність, недавні дослідження показують, що швидкість передачі по одномодовому оптичному волокну швидко наближається до фундаментальної межі Шеннона.

Для подолання цього обмеження нові технології використовують просторове розділення каналів (SDM), яке може стати рішенням для подальшого зростання швидкості передачі.

Існує два підходи до просторового поділу каналів, один спосіб з використанням багатожильного волокна (MCF) і інший з використанням волокон з декількома модами (FMF).

SDM додає масштабність волоконно-оптичних систем, які мають потенціал для збільшення швидкості на порядок. MCF і FMF для SDM є популярними темами поточних досліджень.

Незважаючи на те, що багатомодові оптичні волокна були замінені одномодовим оптичним волокном, яке використовується для організації зв'язку, MMF все ще є волокном, яке переважно використовується для передачі даних на короткі відстані, так як пропонує ефективний зв'язок з джерелом світла, низьку вартість стиків і з'єднувачів між волокнами.

В останні 10 років MMF і короткохвильові напівпровідникові лазери на вертикальних резонаторах (VCSEL), що працюють на довжині хвилі 850 нм, стали використовуватися в якості ведучих технологій для побудови високошвидкісних мереж передачі на короткі відстані.

MMF використовуються в локальних мережах і центрах обробки даних, де швидкості обробки даних вище або передача ведеться на більш високих

довжинах хвиль, ніж ті, які можуть бути оброблені мережами, що працюють на волокнах з міді, використання VCSEL робить вартість системи ефективною для широкого використання [4].

Швидке зростання обумовлене попитом на високі швидкості передачі даних для підключення до комп'ютерів, сховищ даних і мереж місцевих комунікацій, включно з під'єднанням до інтернет-трафіку.

Сервер віртуалізації, хмарних обчислень і місцевих мереж комунікації та високошвидкісні порти зараз управляються мережами зі швидкостями 40/100 Гбіт / с і більш високими швидкостями (400 Гбіт / с) в центрах обробки даних.

Щоб відповідати вимогам високошвидкісної передачі даних на великі відстані, відбувається вдосконалення MMF для поліпшення їх пропускної здатності і продуктивності.

Розглянемо недавній прогрес розвитку сучасних оптичних волокон, що дозволяє збільшити пропускну здатність як систем передачі на довгі, так і на короткі відстані.

Розглянемо ультра-низькі втрати і велику ефективну площі волокон, яка застосовується в високошвидкісних WDM системах для передачі на великі відстані.

З новими розробками в технологіях когерентного детектування і цифрової обробки сигналів, ослаблення сигналу через дисперсійні ефекти у волокні більше не є проблемою.

Це істотно спрощує конструкцію волокна. Найважливішим параметром оптичного волокна стає загасання у волокні з високою пропускною здатністю при передачі на далекі відстані і ефективна площа волокна.

Повне загасання в оптичному волокні визначається додаванням внутрішніх коефіцієнтів втрат, таких як Релеєвське розсіювання α_{RS} , поглинання інфрачервоних променів α_{IR} і поглинання ультрафіолетових променів α_{UV} , і зовнішніх коефіцієнтів втрат, таких як поглинання через перехідні метали α_{TM} , поглинання іонами ОН α_{OH} , розсіювання з- за недосконалостей хвилеводу α_{IM} і втрати через вигини волокна α_{BL} :

$$\alpha = \alpha_{RS} + \alpha_{IR} + \alpha_{UV} + \alpha_{TM} + \alpha_{OH} + \alpha_{IM} + \alpha_{BL}. \quad (1.1)$$

Домішки перехідних металів практично можуть бути усунені з волокна за допомогою спеціальної підготовки перед виробничими процесами з використанням хімічних методів парового осадження з високими хімічними чистими сирими матеріалами.

Концентрація може бути зменшена до мінімального рівня шляхом використання сухого хлорування.

Втрати в хвилеводі можуть бути викликані геометричними коливаннями на кордоні ядра і оболонки. Граничні флуктуації зазвичай головним чином виникають через залишковий тиску на оптичне волокно, яке виникає при виробничому процесі. Залишкова напруга залежить від внутрішнього тертя між ядром і оболонкою і силою розтягування оптичного волокна.

Напругу може бути зменшено відповідно до внутрішнього (динамічного) тертя ядра і оболонки волокна. З внутрішніх чинників найважливішим параметром є втрати, викликані релєєвським розсіюванням. Релєєвські втрати визначаються щільністю і концентрацією коливань.

$$\alpha_{RS} = \alpha_p + \alpha_c. \quad (1.2)$$

Щільність флуктуацій для коефіцієнта розсіювання залежить від фіктивної температури, T_f , при якій скло має ту ж структуру, як і переохолоджена рідина.

Переохолоджена рідина - рідина, що має температуру нижче температури кристалізації при даному тиску.

$$\alpha_p = \frac{8\pi^3}{3\lambda^4} n^3 p^2 \beta_T k_B T_f, \quad (1.3)$$

де λ - довжина хвилі падаючого світла,

ρ - фотопружний коефіцієнт,

n - показник заломлення,

k_B -постійна Больцмана,

βT - ізотермічна стисливість.

Флуктуаційна концентрація пропорційна:

$$\alpha_c \sim \left(\frac{\partial n}{\partial C} \right)^2 \langle \Delta C^2 \rangle T_f. \quad (1.4)$$

Таким чином, для придушення релеевського розсіювання необхідно зменшити T_f наскільки це можливо, щоб збільшилася структурна релаксація. (Структурна релаксація - процес переходу аморфної фази свого рівноважного стану при температурі нижче температури склування.)

Щоб зменшити концентрацію флуктуацій, бажано знизити рівень домішок GeO_2 в ядрі, так як Релеевське розсіювання пропорційно концентрації GeO_2 . З цієї причини, для виготовлення ядра краще використовувати чистий кварц.

Втрати в волокні через мікро і макро вигини є важливими чинниками, які впливають на загасання у волокні, особливо в волокнах з великою ефективною площею.

Для збільшення ефективної площі і збереження хороших властивостей гнучкості волокна, необхідно ретельно проектувати профіль показника заломлення ядра.

Оптичні властивості, які необхідно враховувати, включають в себе ефективну площу, довжину хвилі оптичного кабелю і втрати на вигинах. Відношення між цими властивостями можна зрозуміти, розглянувши прості конструкції профілів, які схематично представлені на рисунку 1.10 (а). Ступінчастий профіль показника заломлення характеризується двома параметрами: відносний показник заломлення або core delta і радіус серцевини.

Для збільшення ефективної площі необхідно збільшувати радіус серцевини, але core delta повинна зменшуватися, для збереження довжини хвилі відсічення (критична довжина хвилі оптичного волокна) в кабелі нижче мінімальної довжини хвилі в вікні застосування, наприклад, в діапазоні від 1530 до 1550 нм.

Через те, що в кабелі довжина хвилі відсічення обмежена, втрати на вигинах зростатимуть разом зі збільшенням ефективної площі. При практичному застосуванні, втрати на макрозгинах зазвичай мають верхню межу, яка, наприклад, менше 0,5 дБ при 100 вигинах і діаметрі вигину рівному 60 мм. У конструкції ступеневого профілю, який має довжину хвилі відсічення і в якому виникають втрати на вигинах, максимальна ефективна площа може досягати приблизно 110 мкм².

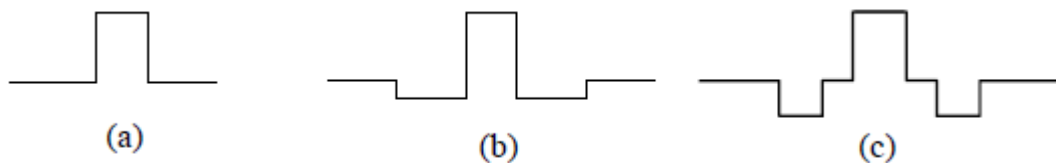


Рис.1.10.Конструкції профілів для волокон з великою ефективною площею

Наприклад, рисунок 1.11 показує виміряні втрати на вигинах, які виражені як функція від ефективної площі для профілю (b) на довжині хвилі 1550 нм. Для діаметра вигину 30 мм, втрати на вигині починають швидко збільшуватися коли ефективна площа стає більше ніж 130 мкм², тоді як для діаметра вигину 40 мм, ефективна площа може бути більш ніж 175 мкм².

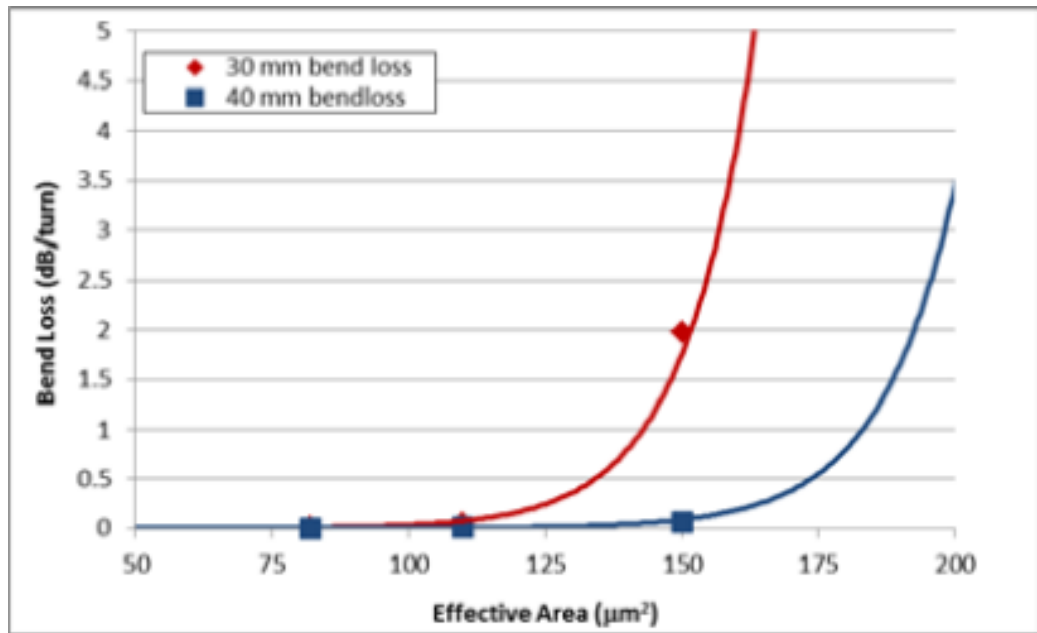


Рис.1.11. Втрати на вигинах як функція ефективної площі для профілю (b).

Джерело [1]

Проте, втрати на вигинах є обмежуючим фактором для великої ефективної площі. Якщо ми використовуємо систему покриття волокон, яка в даний час використовується для стандартного одномодового волокна (G.652), повідомляється, що ефективна площа може бути збільшена лише до значення 120 мкм² через зростання втрат на мікрозгинах.

Ці перешкоди з'єднують в собі потужність від основної керованої моди в ядрі і модах оболонки високого порядку, які губляться у зовнішній оболонці:

$$\gamma_{micro} \propto \frac{a^4}{b^6} \Delta^3 E^{\frac{3}{2}}, \quad (1.5)$$

де a -радіус серцевини;

b -це радіус оболонки;

Δ -відносний коефіцієнт заломлення в серцевині;

E -коефіцієнт пружності шару первинного покриття, який оточує скло.

Як згадувалося раніше, відносний коефіцієнт заломлення і радіус серцевини визначається ефективною площею і довжиною хвилі відсічення, ці

змінні не є незалежними, і разом не є суттєвою мірою, яка б дозволила збільшити чутливість в волокнах з великою ефективною площею.

Це робить внутрішній первинний коефіцієнт ключовим рішенням, спрямованим на збільшення чутливості на мікрозгинах в волокнах з великою ефективною площею. Використання м'якого внутрішнього первинного покриття допоможе захистити скло від зовнішніх впливів і, отже, підвищити продуктивність на мікрозгинах.

Роль первинного коефіцієнта в "пом'якшенні" мікрозгинів була продемонстрована експериментально. В цьому експерименті, волокна з різними ефективними площами були виготовлені з різними покриттями, що мають внутрішні первинні коефіцієнти рівні приблизно 0,43 і 0,13 (покриття А і В, відповідно).

Рисунок 1.12 показує вимірне загасання у волокні.

Для ефективної площі, що знаходиться в діапазоні 110 і 115 мкм², загасання в волокнах з двома покриттями однакове.

Це показує, що внутрішнє згасання може бути представлено за допомогою ефективної площі меншої ніж 115 мкм².

Для ефективної площі, яка більше 120 мкм², втрати на мікрозгинах починають зростати в волокні з покриттям А, тоді як для ефективної площі до 135 мкм² в волокні з покриттям В, втрати на мікрозгинах залишаються на нульовому рівні.

Очевидно, що для отримання всіх переваг ультранизького загасання, для волокна з дуже великою ефективною площею потрібне покриття з оптимальним внутрішнім первинним коефіцієнтом, що може використовуватися для захисту від втрат на мікрозгинах.

Передбачається, що використання волокна з ефективною площею величиною близько 150 мкм² буде можливе з подальшою оптимізацією первинного покриття.

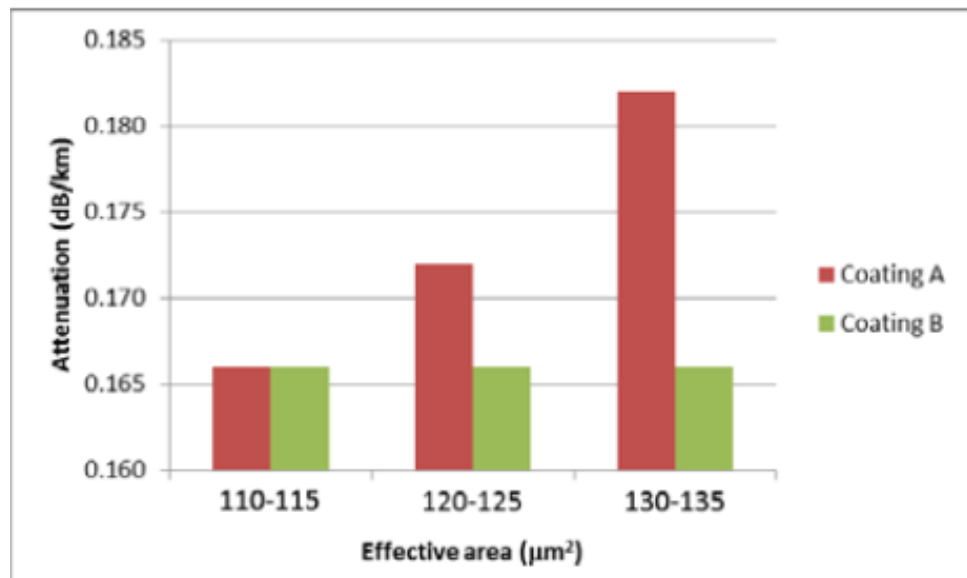


Рис.1.12. Загасання в волокнах з різними ефективними площами і різними покриттями

Ефективна площа і загасання у волокні впливають на відношення сигнал / шум в оптичному сигналі в системі передачі. Основними факторами, які визначають ставлення сигнал / шум для заданої системи зв'язку на заданій відстані є: вихідна потужність сигналу всередині кожного прольоту, перешкоди від оптичних підсилювачів, втрати на прольоті, і повне число прольотів в системі.

Виходячи з цього, фактори, які безпосередньо пов'язані з параметрами оптичного волокна, є оптична вихідна потужність і втрати на прольоті.

Вихідна потужність каналу обмежена нелінійними ефектами в волокні, які співмірні з відношенням ефективної площі до нелінійного показника заломлення. Втрати на прольоті безпосередньо пов'язані з коефіцієнтом загасання у волокні α . Для кількісної оцінки переваг великою ефективною площею і низьких втрат на OSNR, визначається показник якості оптичного волокна (FOM):

$$FiberFOM(dB) = 10 \log \left(\frac{A_{eff} \cdot n_2 \cdot ref}{A_{eff \cdot ref} \cdot n_2} \right) - (\alpha - \alpha_{ref})L - 10 \log \left(\frac{L_{eff}}{L_{eff \cdot ref}} \right), \quad (1.6)$$

де A_{eff} , α , n_2 , і L_{eff} ефективна площа, коефіцієнт загасання, нелінійний показник заломлення і ефективна довжина розглянутого волокна;

$A_{eff, ref}$, α_{ref} , A , n_2 , і $L_{eff, ref}$ ефективна площа, коефіцієнт загасання, нелінійний показник заломлення і ефективна довжина еталонного волокна;

L -довжина прольоту.

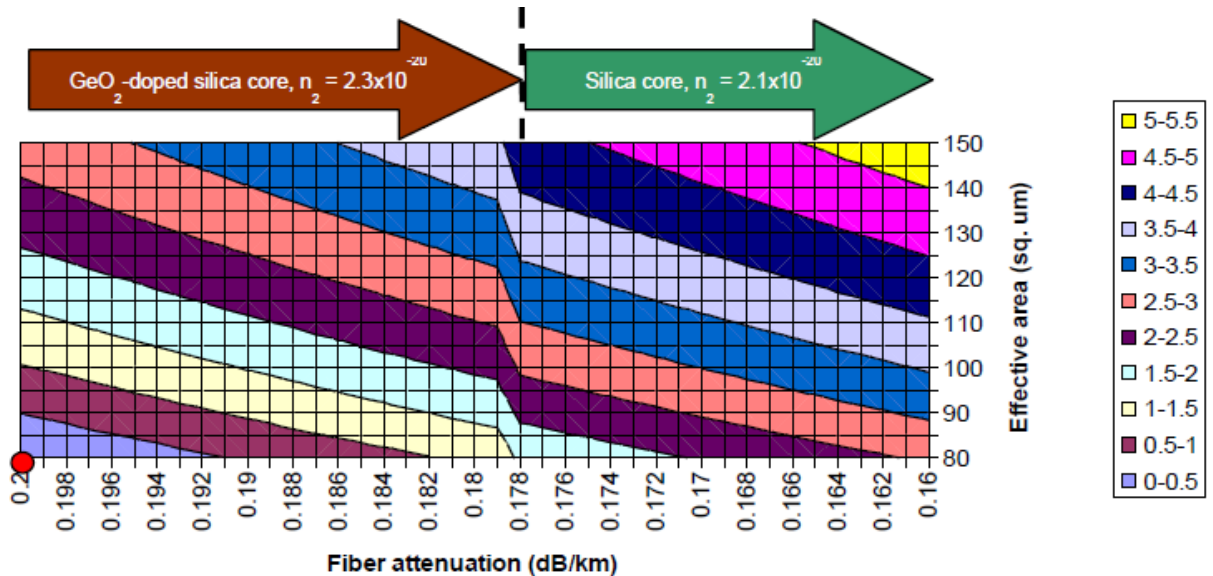


Рис.1.13. Показник якості оптичного волокна представлений як функція загасання і ефективна площа для прольоту довжиною хвилі 75 км

Червоне коло відображає параметри еталонного волокна.

Рис.1.13 представляє показник якості оптичного волокна як функція ефективної площі і загасання для системи, що працює на прольоті в 75 км.

Розрив, який можна спостерігати на контурному графіку на рисунку 1.13 в діапазоні між 0,179 дБ / км і 0,178 дБ / км є результатом припущення, яке було зроблено тут для значення загасання $\leq 0,178$ дБ / км, волокно має бути зроблено з кварцу, замість використання звичайного легованого германієм волокна.

На рисунку 1.13 ясно видно, що збільшення показника якості оптичного волокна може бути досягнуто або шляхом збільшення ефективної площі, або зменшення загасання у волокні. Фактично, для прикладу цього прольоту довжиною 75 км > 5 дБ збільшення в показнику якості може бути

отримано за рахунок зміщення до ультранизьких втрат в волокні з загасанням 0,162 дБ / км і ефективною площею не менше 145 мкм².

Для більш довгих прольотів або довгих ліній, ультранизькі втрати досягають не менше 145 мкм², таким чином, значення ультранизьких втрат стає навіть більш важливим. Даний аналіз показує, що зменшення загасання на -0,035дБ / км еквівалентно збільшенню ефективної площі на 34, 55 і 83 мкм², що більше ніж ефективна площа еталонного волокна в 80 мкм² для прольоту довжиною 50, 75 і 100 км відповідно.

1.4 Розвиток DWDM-обладнання для побудови мультисервісних мереж

Збільшення спектральної ефективності досягається головним чином за рахунок переходу до більш складних форматів модуляції - 8QAM, 16QAM, 64QAM.

Неминучою платою за це стає помітне зниження граничної дальності передачі без регенерації сигналу, що, втім, не є істотним недоліком для мереж міського та регіонального масштабів.

Інший спосіб збільшення пропускної здатності - підвищення символної швидкості - обмежений фізичними можливостями електроніки і базовими принципами зв'язку.

В даний час в обладнанні використовуються модулятори на швидкості 30 Гбод, тестуються модулятори 45 і 60 Гбод, що, мабуть, вже близько до граничних можливостей сучасної електроніки. Альтернативою є ущільнення каналів при тій же символній швидкості (наприклад, передача 30 Гбод в смузі не 50 ГГц, а 33 ГГц).

Але таке ущільнення можливо тільки якщо спочатку спектральна ефективність не буде максимальною.

Крім того, підвищення символної швидкості в заданій смузі (або скорочення смуги при тій же швидкості) також призводить до деякого зниження дальності. В даний час активно розвивається ще один спосіб

збільшення каналної швидкості - використання декількох піднесних (суперканалів).

Це не призводить до зростання ефективності використання спектра, але зате дозволяє надати клієнтові будь-яку необхідну каналну швидкість. Три незалежних шляхи збільшення каналної швидкості систем зв'язку - підвищення символної швидкості, ускладнення формату модуляції, використання декількох піднесних - показані на рисунку 1.14.

Канальна швидкість розраховується як добуток значень по всіх трьох осях, при цьому необхідно передбачити ще деякий запас для реалізації завадостійкого кодування FEC.

Наприклад, в 2013-2014 роках активно розвивалися і використовувалися системи 100G: символна швидкість 30 Гбод, символна ефективність чотири біта на бод (формат QPSK з використанням двох поляризацій), одна несуча в смузі 50 ГГц.

У 2015 році світовими вендорами були представлені системи 400G по двом піднесним: символна швидкість 30 Гбод, символна ефективність вісім біт на бод (формат 16QAM з використанням двох поляризацій), дві піднесних в загальній смузі 100 ГГц.

На 2016 рік аносовані розробки 400G по одній несній: наприклад, символна швидкість 60 Гбод, символна ефективність вісім біт на бод (формат 16QAM з використанням двох поляризацій), одна несуча в смузі 100 ГГц.

Використовуються й інші варіанти, деякі з яких так само подано на рисунку 1.14.

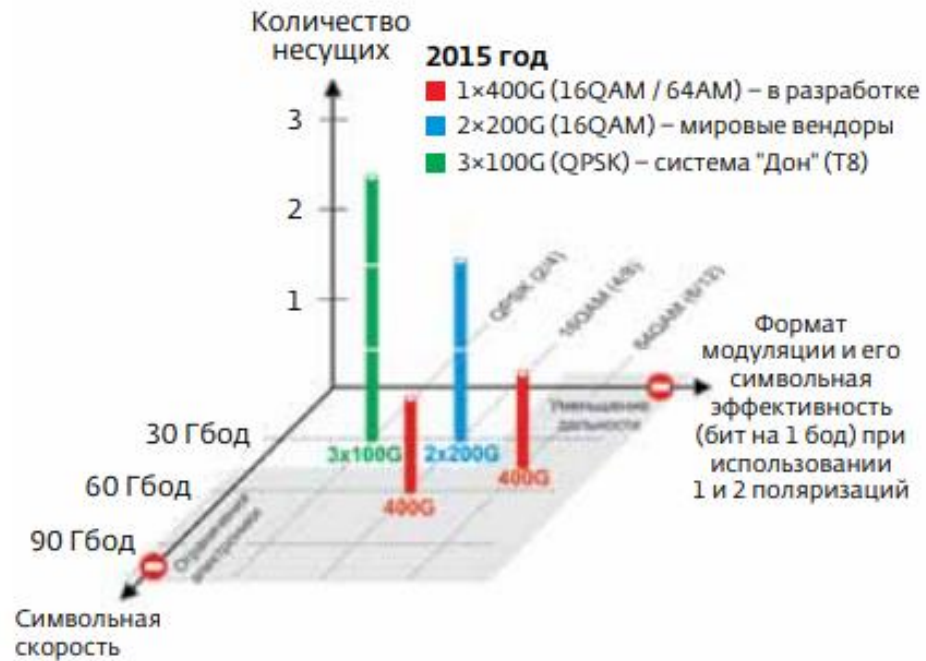


Рис.1.14. Шляхи підвищення каналної швидкості систем. Джерело [2]

1.5 Збільшення символьної швидкості і ускладнення формату модуляції

На рисунку 1.15 показані можливі стани сигналів QPSK і 16QAM на амплітудно-фазовій діаграмі (I і Q - синфазна і квадратурна компоненти сигналу).

Видно, що при тій же максимальній амплітуді сигналу ускладнення формату модуляції веде до більш щільного розташування станів сигналу. Чим ближче один до одного різні стани, які повинен розрізнити приймач, тим менше допустимий рівень шуму в лінії (отже, менше і допустима дальність передачі).

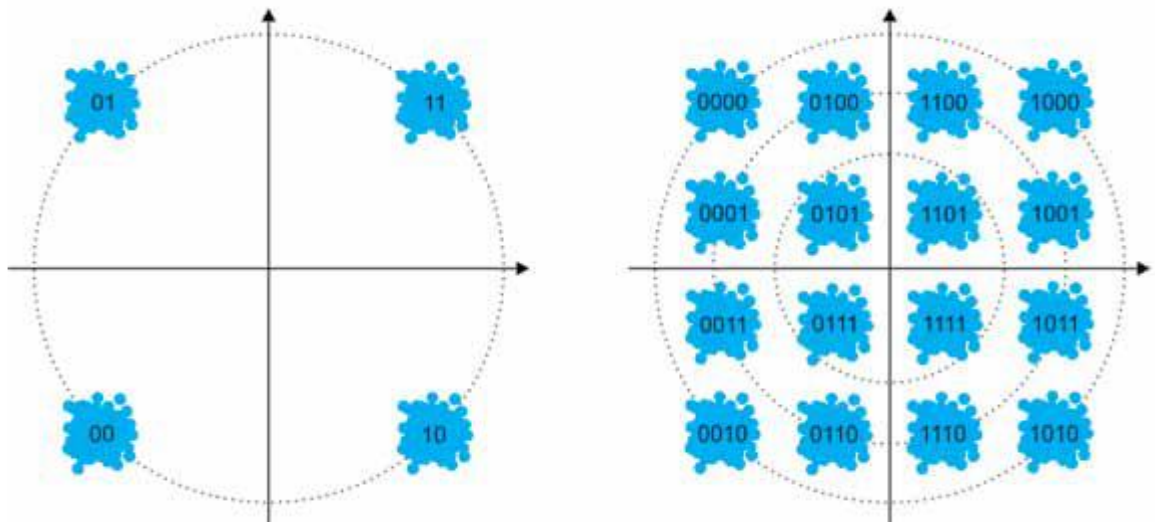


Рис.1.15. Формати модуляції

Для передачі 100 Гбіт / с по одній довжині хвилі застосовується формат передачі DP-QPSK (дві поляризації, два біта на символ) і символна швидкість 30 Гбод - разом 120 Гбіт / с мінус FEC; в сітці 50 ГГц спектральна ефективність 2 біт / с / Гц.

Для передачі 200 Гбіт / с по одній довжині хвилі застосовується два варіанти реалізації. Перший - модуляція DP-16QAM (дві поляризації, чотири біта на символ) і символна швидкість 30 Гбод. Разом 240 Гбіт / с мінус FEC; в сітці 50 ГГц спектральна ефективність 4 біт / с / Гц.

Можливі шляхи збільшення дальності - скорочення довжини прольотів, використання розподіленого раманівського посилення [6,7].

Після появи систем 100G черговим модним "трендом" DWDM-обладнання стали системи 400G, а в лабораторних експериментах - 1T. Ймовірно, це пов'язано з очікуваннями стандартизації та впровадження чергових рівнів протоколу Ethernet на клієнтських мережах - 400G Ethernet і 1T Ethernet.

Відповідно, оператори зв'язку готуються надати клієнтам інтерфейси для передачі таких каналів; "Внутрішня кухня" (як саме технічно передається цей потік через оптичне волокно) при цьому для клієнта не настільки важливо.

На практиці досягти швидкості 400 Гбіт / с по одній несній в комерційних системах поки не вдалося, і в 2015 році на ринку були представлені різні варіанти "400G" систем на двох піднесних. При цьому здійснюється передача двох каналів по 200 Гбіт / с кожен на двох різних довжинах хвиль зі спектральною ефективністю 2-4 біт / с / Гц.

Використання декількох піднесних саме по собі не дозволяє підвищити спектральну ефективність системи. Почасти це маркетинговий хід виробників обладнання напередодні випуску справжніх 400G-систем (по одній несній), а частково - відпрацювання технології суперканалів для надання клієнту будь-якої необхідної каналної швидкості (під суперканалами розуміється набір з декількох оптичних піднесних, якими можна керувати в оптичному тракті як єдиним цілим).

У лабораторних установках досліджуються найрізноманітніші варіанти суперканалів - наприклад, 10, 100G в смузі 400 ГГц і т.п. [8].

У комерційних системах 100G зразка 2013- 2014 років канал 100 Гбіт / с передається в спектральній смузі 50 ГГц. Той же канал можна передати і в меншій смузі (з деяким зниженням дальності), що неодноразово демонструвалося в лабораторних системах. Однак при впровадженні комерційної системи важливим є питання узгодження зі встановленим обладнанням, яке в переважній більшості наземних DWDM-систем відповідає рекомендаціям ІТУ-Т (мультиплексори 100 і 50 ГГц).

Суперканал 300G передається в стандартній сітці 100 ГГц, при прийомі поділ каналів здійснюється за рахунок технології когерентного прийому (рисунок 1.16) [9].

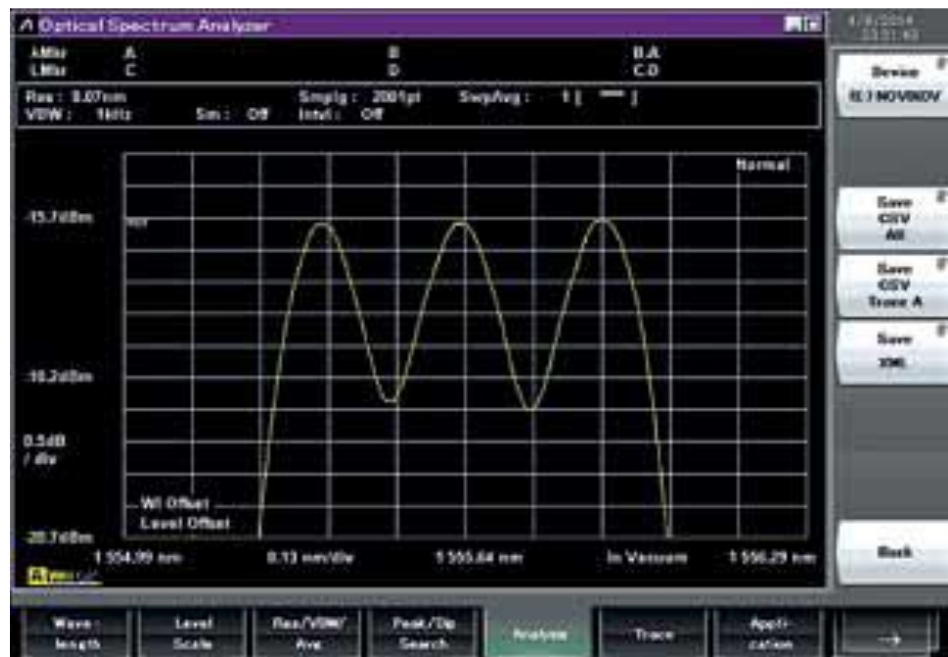


Рис.1.16. Спектр суперканала $3 \times 100\text{G}$ в сітці 100 ГГц

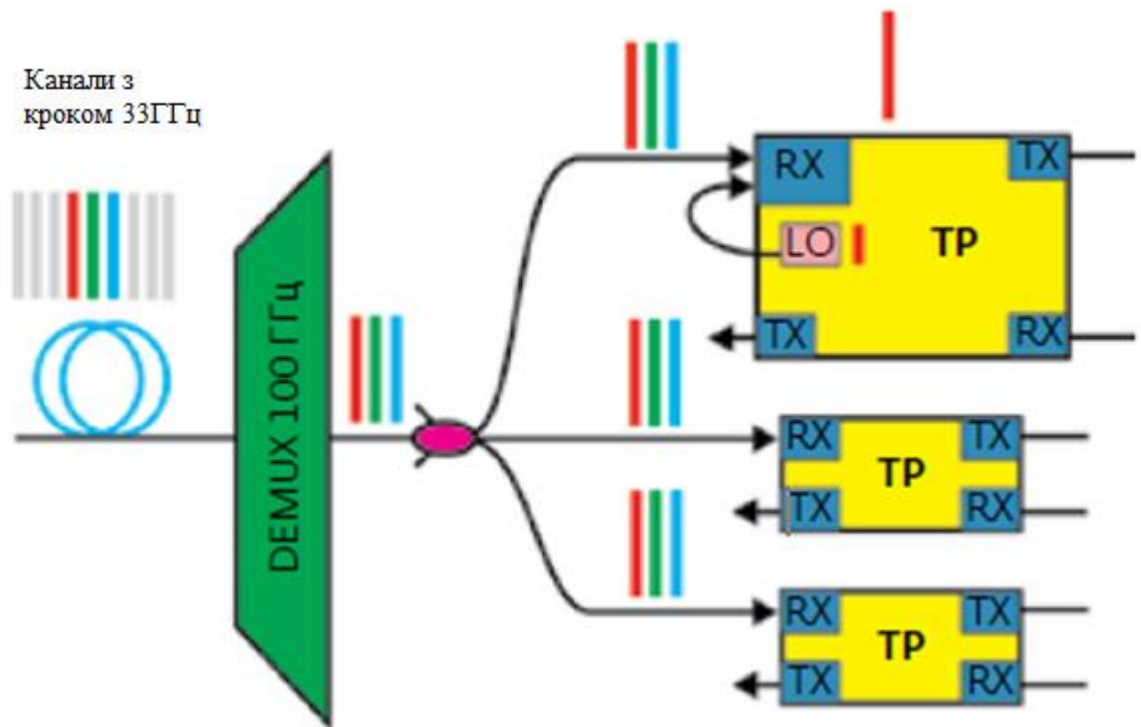


Рис.1.17. Передача суперканала $3 \times 100\text{G}$ в сітці 100 ГГц

Розглянемо способи реалізації оптичних суперканалів відповідно до статті [9], а також розглянемо перехід до технології flex-grid в мультисервісних мережах.

Економічно найбільш перспективно поступове збільшення каналних швидкостей в діючих DWDM-системах зв'язку.

Компанією «Т8» розроблена лінійка транспондерів (рисунок 1.18) зі швидкостями 2,5 / 10/40 і 100 Гбіт / с, що дозволяє вирішити завдання збільшення швидкості передачі діючих систем зв'язку в С-діпазоні з 0,22 Тбіт / с до 8,8 Тбіт / с.

Розробка такого обладнання ведеться компанією «Т8». Ключовими компонентами проєктованого обладнання є транспондер TS-100E і агрегує транспондер MS-100E-T10 (обидва на швидкість в лінії 100 Гбіт / с), серійно вироблені компанією.

Завдяки використанню формату DP-QPSK і корекції помилок на основі алгоритмів м'якого прийняття рішень SoftFEC з надмірністю 20% досягнуто рекордне низьке значення необхідного OSNR в транспондерах 100 Гбіт / с, рівне 12,5 дБ. Максимальне значення накопиченої дисперсії становить 70000 пс / нм.



[Рис.1.18. Лінійка розроблених транспондерів Джерело \[9\]](#)

Максимальна місткість 88-канальної DWDM системи на основі транспондера TS-100E становить 8,8 Тбіт / с (С-діпазон з смугою 4,4 ТГц), спектральна ефективність 2 біт / с / Гц).

З використанням розробленого обладнання встановлено 2 світових рекорди дальності передачі інформації станом на 2018 рік:

1. Здійснена передача 100G на 4000 км в 80-канальній DWDM системі. Запас по OSNR склав 8 дБ, що дозволяє збільшити лінію до 8000 км;

2. Здійснена передача сигналу з каналною швидкістю 100 Гбіт / с на 500 км в однопрогоновій лінії.

Параметри розроблених транспондерів 100G дозволяють забезпечити швидкість передачі 8,8 Тбіт / с в С-діапазоні при використанні стандартної сітки 50 ГГц. При використанні С + L - діапазону швидкість передачі в сітці 50 ГГц може бути збільшена до 18 Тбіт / с.

Для доведення ємності до 25 Тбіт / с необхідно зменшити сітку приблизно в 1,5 рази.

Нижче розглянемо архітектуру і вимоги до компонентів DWDM-системи ємністю 25 Тбіт / с.

Архітектура системи з ємністю 25 Тбіт / с на одне волоконне з'єднання наведена на рисунку 2.5. Технічне рішення засноване на використанні 250 інформаційних каналів зі швидкістю 100 Гбіт / с кожен в форматі DP-QPSK [10,11].

Для полегшення керуваності системою кожен десять каналів об'єднані в суперканали, швидкість передачі інформації по кожному суперканалу становить 1 Тбіт / с.

Всього використовується 25 суперканалів.

Можливі два варіанти реалізації системи, що відрізняються відстанню між DWDM каналами (сіткою частот):

- відстань між каналами 50 ГГц (0,4 нм), використовуються гібридні EDFA підсилювачі в С і L + UL діапазонах з розширенням смуги раманівськими підсилювачами; повна ширина спектра підсилення - понад 100 нм;

- відстань між каналами 33 ГГц (0,26 нм), повна ширина спектра підсилення - понад 70 нм, передбачається використання EDFA і / або гібридних EDFA - раманівських підсилювачів.

Кожне з рішень має певні переваги і недоліки.

Перше рішення засноване на використанні стандартизованої DWDM сітки с кроком 50 ГГц. Для такої сітки промислово випускаються і комерційно доступні пасивні оптичні компоненти: мультиплексори,

демультиплексори, смугові фільтри, мультиплексори введення / виведення, в тому числі перебудовувані.

Однак в даний час не випускаються активні компоненти транспондерів - передавачі і приймачі, призначені для роботи в L-діапазоні спектра. Також не випускаються підсилювачі зі смугою понад 100 нм (C + L + UL діапазон). Такі підсилювачі необхідні для одночасного посилення 250 переданих по лінії зв'язку DWDM-каналів. Створення підсилювача зі смугою посилення понад 100 нм - важке завдання, що вимагає проведення наукових досліджень для вибору оптимального технічного рішення і перевірки обраного рішення на прототипі.

Для реалізації другого рішення потрібні підсилювачі зі смугою 70 нм. Хоча такі підсилювачі теж не випускаються промислово, їх створення - істотно більш просте завдання, ніж підсилювачів зі смугою 100 нм.

Однак для реалізації другого рішення необхідна розробка спеціалізованого активного і пасивного устаткування. Потрібне обладнання повинно бути здатне працювати з нестандартною DWDM-сіткою 33 ГГц.

Крім того, необхідна розробка методів управління спектральними характеристиками оптичних сигналів в кожному каналі.

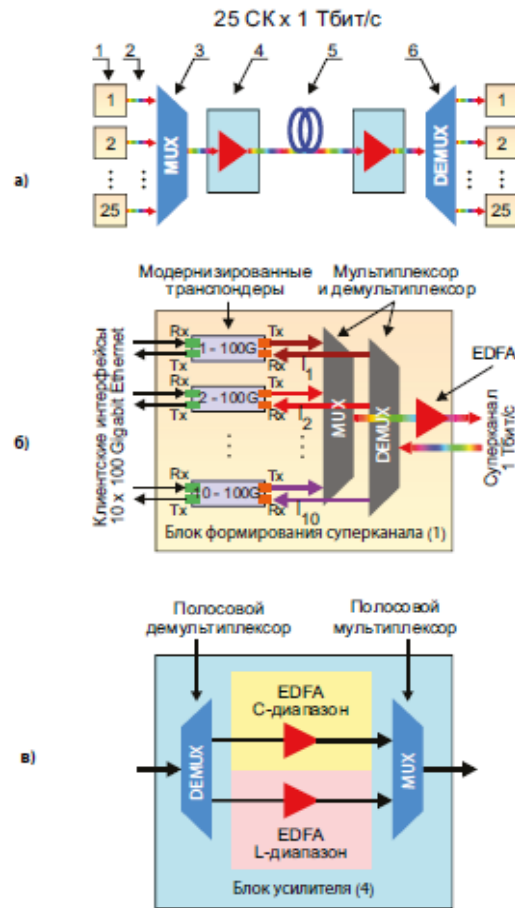


Рис.1.19. Реалізація системи зв'язку 25 Тбіт / с фірми Т8 (показано тільки один напрямок): 1 - блоки формування суперканала, 2 - суперканалів 1 Тбіт / с, 3 - мультиплексор, 4 - блок підсилювача, 5 - волокно, 6 - демультиплексор; б) Блок формування суперканала; в) Блок підсилювача (показано тільки один напрямок). Джерело [9].

Для зменшення перехресних перешкод спектр кожного каналу повинен бути близький до прямокутного.

Реалізація вимагатиме створення наступних ключових компонентів:

- транспондери (мультиплексори) для передачі 100 Гбіт / с в DWDM каналі на базі формату DP-QPSK з можливістю перебудови лазера з кроком 33 ГГц і можливістю роботи в С і L діапазонах, в т. ч. розробка оптичного модуля для роботи в L діапазоні ;

- технологія формування оптичних сигналів з близьким до прямокутного спектру випромінювання для надщільного розташування DWDM каналів (технологія Найквіст WDM);

- гібридні оптичні підсилювачі з шириною спектра до 70 нм і оптичні підсилювачі з підтримкою 3 + L діапазону з шириною спектра понад 100 нм.

Транспондер приймає з боку клієнта інформаційний потік у форматі 100 Gigabit Ethernet (100 GE) у вигляді 10 узгоджених оптичних або електричних потоків по 10 Гбіт / с.

За допомогою клієнтських приймально-передавачів CFP сигнали декодуються, відновлюються і у вигляді 10 потоків по 10 Гбіт / с і подаються на DSP Framer, який здійснює цифрову обробку, що включає в себе перетворення (зміна) формату представлення сигналу, створення пакетів в форматі OTN, в деяких варіантах вносить необхідне для кодування з виправленням помилок додаткову інформацію.

Інформаційний потік у форматі OTN, що складається з 10 узгоджених потоків електричних сигналів по 10 Гбіт / с, надходить на мікросхему цифрової обробки і перетворення сигналу (DSP-LSI).

У DSP-LSI виробляється перетворення 10x10 Гбіт / с сигналів в 4 узгоджених потоки по 25 Гбіт / с, потім здійснюється надлишкове кодування, призначене для подальшого виправлення помилок на стороні приймача).

В результаті кодування швидкість кожного з 4 узгоджених потоків збільшується до 32 Гбіт / с.

Після цього в мікросхемі DSP-LSI проводиться кодування для реалізації формату DP-QPSK. Потім чотири сигнали по 32 Гбіт / с мікросхемою MUX перетворюється в 4 високочастотних аналогових сигнали (смуга більше 30 ГГц), які надходять на входи високошвидкісних підсилювачів (RF Driver), де сигнал посилюється до необхідної амплітуди і подається на модулятор DP-QPSK інтегрованого когерентного оптичного передавача (ICT).

Сигнал з виходу передавача DP-QPSK після мультиплексування і посилення вводиться в волоконно-оптичну лінію зв'язку. Структура оптичного сигналу в форматі DP-QPSK приведена на рисунку 1.20.

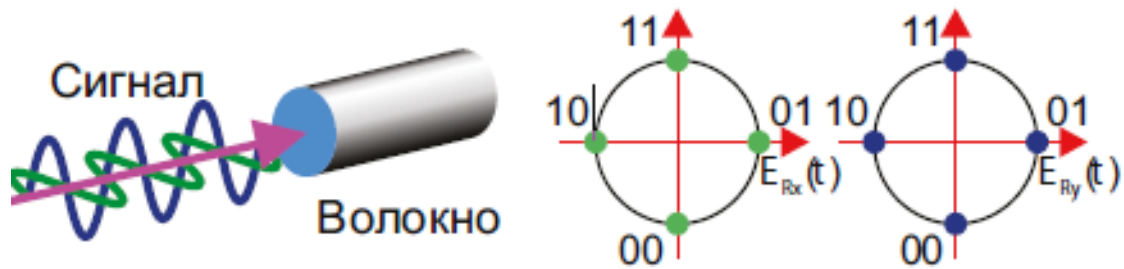


Рис.1.20. Структура оптичного сигналу в форматі DP-QPSK

Сигнал, що пройшов через волоконно-оптичну лінію зв'язку, надходить на приймач DP-QPSK. В інтегрованому оптичному приймачі ICR вхідний сигнал ділиться поляризаційним ділителем PBS, і компоненти з ортогональними поляризаціями подаються на два змішувача із зсувом фази 90 градусів (90-deg hybrid).

На ці ж змішувачі подається опорне випромінювання від лазера. На змішувачах 90-deg hybrid відбувається оптичне змішання поляризованих компонент сигналу з опорним випромінюванням.

Причому кожна з поляризованих компонент ділиться на дві частини. Одна компонента змішується з опорним випромінюванням без зсуву фази, а друга частина - змішується з опорним випромінюванням, зсунутим по фазі на 90 градусів. Кожен з чотирьох змішаних сигналів детектується диференціальним приймачем і подається на трансімпедансний підсилювач.

З виходу трансімпедансних підсилювачів LCR чотири високочастотних аналогових електричних сигнали (смуга більше 30 ГГц) надходить на мікросхему цифрової обробки і перетворення сигналу (DSP-LSI).

У мікросхемі DSP-LSI входять 4 аналогових сигнали, які оцифровуються з використанням 8-бітових АЦП з тактовою частотою 60 гігасимволів в секунду. Потім сформовані 4 потоки вирівнюються в цифровому процесорі (DSP) в режимі реального часу.

DSP здійснює синхронізацію, компенсацію хроматичної дисперсії і поляризаційної модової дисперсії і виправлення помилок із застосуванням SoftFEC з надмірністю 15% (LDPC код).

Використовуваний в розробленому пристрої алгоритм обробки забезпечує електронну компенсацію хроматичної дисперсії до 70000 пс / нм.

Після компенсації спотворень і LDPC-обробки сигналу формується 4 потоки по 25 Гбіт / с, які перетворюються в 10 по 10 Гбіт / с потоків OTN.

Далі сигнали (10x10 Гбіт / с) потрапляють на DSP Framer, де з OTN контейнера витягується клієнтський сигнал. З використанням інформації про швидкість клієнтського сигналу вона відновлюється.

В результаті формується клієнтський потік, який передається клієнту через CFP.

З точки зору технічної можливості бути реалізованим і економічності найбільш перспективним варіантом створення систем зв'язку зі швидкістю 20-30 Тбіт / с є DWDM система зв'язку, що використовує 250 каналів в С і L діапазонах, формат модуляції DP-QPSK з каналною швидкістю 100 Гбіт / с і щільністю каналів 33 ГГц.

Для реалізації такої DWDM системи зв'язку зі швидкістю 25 Тбіт / с потрібна розробка активних компонентів, які працюють в L-діапазоні (рисунок 1.21).

Для реалізації закладених в проекті рішень потрібна розробка оптичного модуля, що володіє рядом необхідних функцій і технічних характеристик, яких в повному обсязі немає в розроблених іншими компаніями оптичних модулях.

Зокрема, до таких функціональних можливостей відносяться наступні:

- можливість роботи в L-діапазоні;
- підтримка DWDM сітки 33 ГГц;
- електронне управління спектром випромінювання каналів.

У розробленому оптичному модулі передбачено використання задаючих і опорних лазерів, довжина хвилі випромінювання яких перебудовується з кроком 33 ГГц як в С, так і в L-діапазонах.

Для створення підсилювачів зі смугою підсилення понад 70 нм передбачено використання двоканальних підсилювачів зі смуговим

демультиплексорам і мультиплексором, схема якого показана в центральній частині (рисунок 1.21).

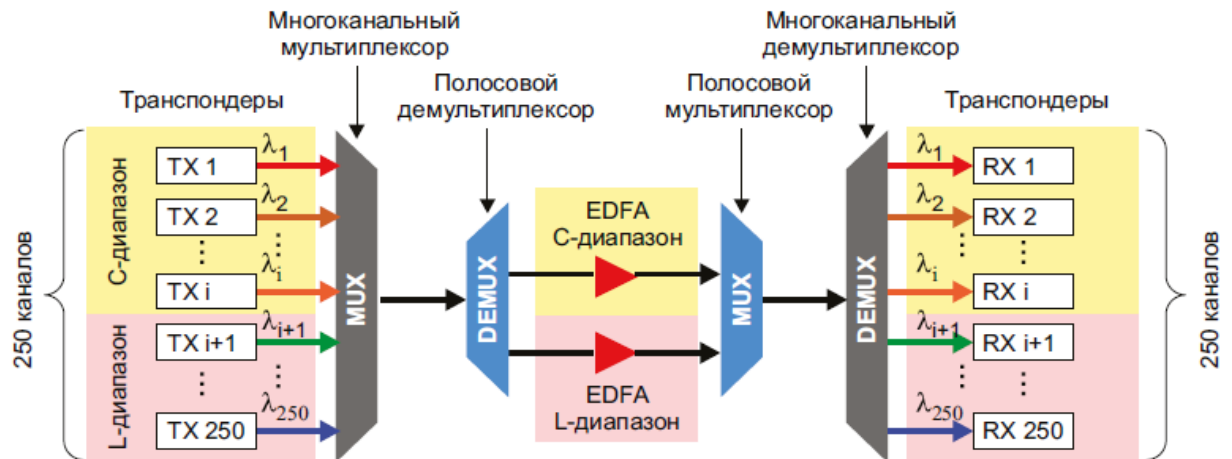


Рис.1.21. Структура DWDM системи зв'язку з ємністю 25 Тбіт / с.

Джерело [9]

Для зменшення перехресних перешкод від сусідніх каналів при щільному розташуванні каналів необхідно сформувати спектр сигналів, близький до прямокутного.

Для цього передбачається використання двох технологій:

- 1) жорстка оптична фільтрація із застосуванням фільтрів, що мають прямокутний спектр пропускання;
- 2) використання електронних методів управління спектром сигналу.

Найбільший ефект має дати поєднання обох методів. Механізм дії жорсткої фільтрації досить простий: якщо сигнал з широким спектром від передавального пристрою проходить через фільтр з прямокутним спектром, то спектр вихідного сигналу буде мати круті бічні кордони.

Однак центральна частина спектра при фільтрації разом зі звичайним сигналом виявляється нерівномірною. виправити ситуацію може використання спеціальних узгоджених зі спектром передавача фільтрів.

Ідея узгодженого фільтра полягає в тому, щоб виправити нерівномірність спектра в центральній частині, що дозволяє використання фільтра з збільшеними втратами в центральній частині смуги пропускання і максимальним пропусканням поблизу країв смуги пропускання.

В системі зв'язку з сумарною місткістю 25 Тбіт / с при використанні формату 100 Гбіт / с DP QPSK необхідно одночасно передавати 250 DWDM каналів.

Однак зростання числа DWDM каналів до декількох сот істотно ускладнює управління мережею.

Оптимальним рішенням, що дозволяє зберегти дальність передачі і збільшити ефективність управління мережею є використання множини несних в одному об'єднаному каналі.

Оскільки найбільшою продуктивністю володіють системи зв'язку на основі формату DP-QPSK, то саме його доцільно використовувати в поєднанні з однією з технологій передачі інформації на багатьох піднесних: OFDM, OWDM або Nyquist WDM.

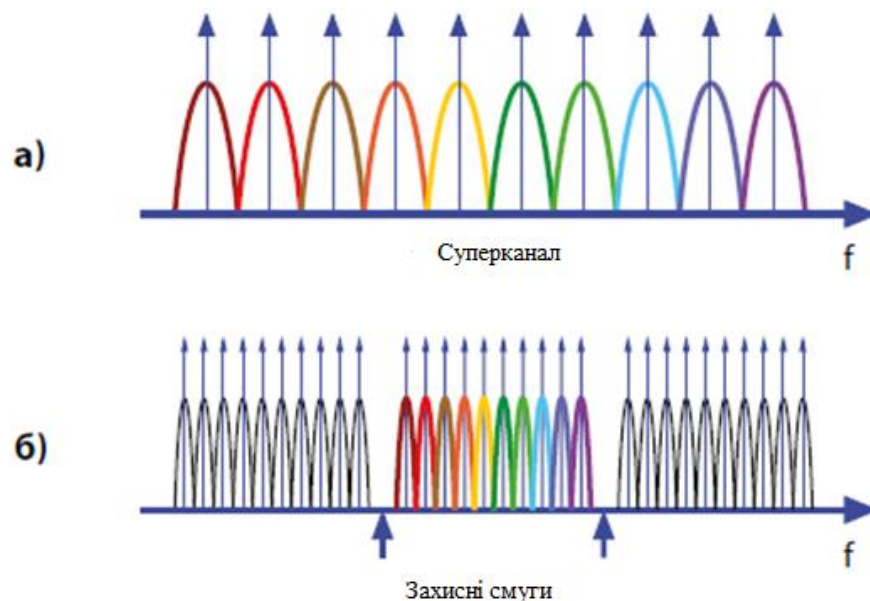


Рис.1.22. Спектр DWDM сигналу, що складається з терабітних суперканалів, що містять по 10 піднесних в форматі DP-QPSK: (а) - спектр одного суперканала, (б) - спектр DWDM сигналу в робочому діапазоні спектра

Суперканали розділені деякою невикористаною (захисною) спектральною смугою, необхідною при роботі з оптичними маршрутизаторами ROADM і WSS, які перемикають їх як єдине ціле.

Крім збільшення каналної швидкості і числа каналів у волокні ще одним напрямком збільшення пропускної здатності DWDM систем є використання многосерцевинних волокон (технологія просторового мультиплексування) [12].

Оскільки продуктивність в 100 Гбіт / с доступна на єдиній лінійній карті з 2005 року [12], розумно припустити, що сервіс-провайдери шукають істотно більш продуктивну одиницю, скажімо, терабіт в секунду (1 Тбіт / с).

Сьогодні це передбачає установку десяти транспондерів по 100 Гбіт / с кожен, і подібний підхід в дійсності передбачає більш ніж десятикратне зростання трудовитрат у порівнянні з установкою одного транспондера, оскільки додавання кожного наступного пристрою впливає на наявні несні в світловоді.

Зліва на рисунку 1.23 показано, яким чином десять транспондерів по 100 Гбіт / с можуть становити таку ж продуктивність оптичного каналу, як єдина лінійна карта Super Channel на 1 Тбіт / с, яка зображена справа.

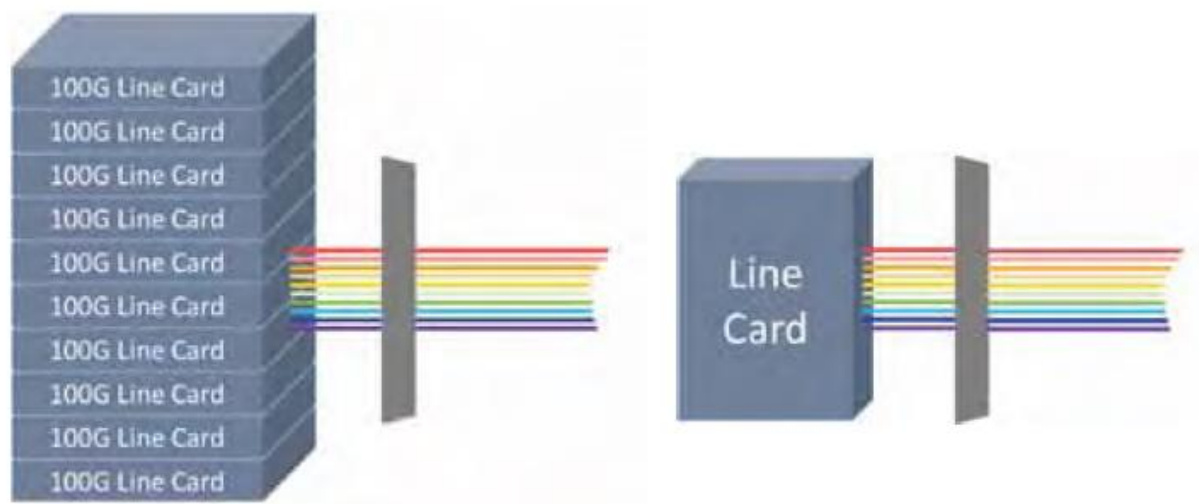


Рис.1.23. Способи уявлення оптичних суперканалів

При цьому варіант з використанням регенераторів сигналу зажадає більш ніж десятикратного збільшення трудовитрат на впровадження в порівнянні з Super Channel.

На рисунку 1.24 показані три варіанти інженерних рішень (А, В і С), до яких ми звернемося в контексті впровадження Super Channel на 1 Тбіт / с.

Всі три приклади в якості технології модуляції використовуватимуть PM-QPSK.

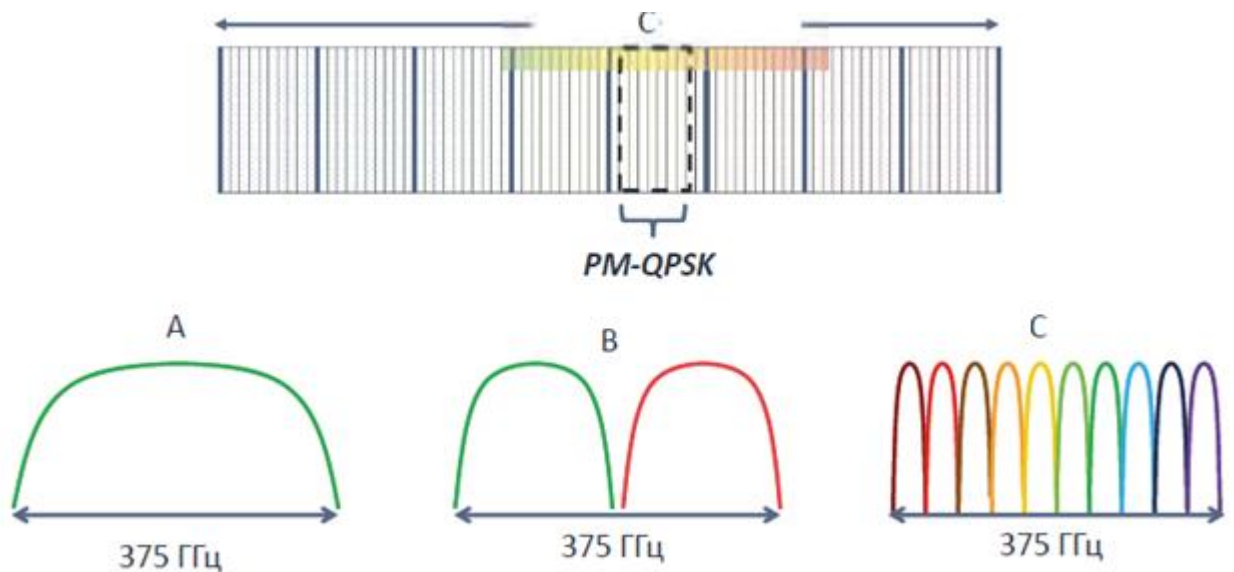


Рис.1.24. Порівняння спектральної ефективності та продуктивності електронних компонентів для варіантів з однією несною , Super Channel з двома несними , і Super Channel з десятьма несними

Варіант А являє собою транспондер з однією несучою, який має продуктивність на рівні 1 Тбіт / с. За своєю суттю це 100 Гбіт / с транспондер, в якому електроніка працює в десять разів швидше, ніж в пристроях, відомих нам сьогодні.

На жаль, необхідна електроніка (особливо, аналогово-цифровий перетворювач і мікросхема для цифрової обробки сигналів (DSP), що працює на швидкості 320 Гбод, згідно з галузевими прогнозами не з'явиться в продажу, щонайменше, в найближчі десять років.

Варіант В - це впровадження технології Super Channel, що включає в себе дві довжини хвилі по 500 Гбіт / с кожна або «суб-несні», які об'єднані в рамках транспондерної карти в єдиний композитний Super Channel на 1 Тбіт / с. Перевагою використання двох суб-несних є дворазове зниження вимог до продуктивності електронних компонентів до 160 Гбод.

Цей підхід є кращим у порівнянні з використанням єдиної несної, але по галузевим прогнозам нам як і раніше доведеться чекати близько семи років до комерційного запуску мікросхем подібної продуктивності

(зрозуміло, подібні чіпи можуть бути доступні раніше для демонстраційних цілей).

Тому оптимальним є варіант С, а саме: Super Channel з десятима суб-несними, який в десять разів знижує вимоги до продуктивності електроніки, а мікросхеми на 32 Гбод доступні вже сьогодні.

Однак при використанні десяти суб-несних будуть потрібні десять оптичних схем, а когерентна технологія сама по собі має потребу у великій кількості високоякісних, а значить дорогих оптичних компонентів навіть для однієї єдиної оптичної схеми.

По суті, терабітних Super Channel на базі десяти суб-несних зажадав би в цілому близько 600 оптичних функцій для схеми передавача і приймача, що було б недоцільно в разі побудови на базі дискретних оптичних чіпів.

На щастя, системи DWDM, побудовані на базі масштабних (тобто багатоканальних) фотонних інтегральних схем (PIC) присутні на ринку з 2004 року. Дані схеми передбачили більш пізній рух в напрямку когерентних технологій, і ряд скептиків в сфері DWDM спочатку висловлював сумніви, що такий високий рівень оптичної продуктивності може бути забезпечений в комерційній PIC.

Разом з тим, в 2010-2011 роках була завершена серія послідовних польових випробувань, яка закінчилася в листопаді 2011 року успішним взяттям планки в 1 Тбіт / с за допомогою технології Super Channel на базі серійного оптоволоконного каналу DWDM в мережі міжнародного оператора зв'язку TeliaSonera між Сан-Хосе і Сан-Дієго. У випробуваннях TeliaSonera використовувалися подвійні передсерійні когерентні лінійні карти Super Channel на 500 Гбіт / с на основі великомасштабної технології PIC.

Для досягнення продуктивності в 1 Тбіт / с потрібно два операційних цикли, по одному для кожної 500 Гбіт / с одиниці. Дане впровадження видається більш вигідним у порівнянні з «багатостійною» конфігурацією, яка є типовою для демонстрації технології Super Channel на базі дискретних компонентів, що вимагає 10 лінійних карт продуктивністю 100 Гбіт / с кожна.

Двійкова фазова маніпуляція (BPSK) використовує два фазових стани на символ модуляції, який кодує один біт в цьому символі (фазовий стан позначає або «1», або «0»).

Додавши поляризаційне ущільнення для отримання Pol-Mux-BPSK (PM-BPSK), ми отримуємо можливість кодувати 2 біта на символ (символ в даному випадку включає в себе обидва стани поляризації).

Є тільки дві осі поляризації, але ми можемо додати до кожного символу фазового стану для кодування додаткових бітів; це дозволяє досягати більш високої швидкості передачі даних з набагато більшою спектральною ефективністю.

PM-BPSK зможе забезпечити до 4 Тбіт / с в діапазоні частот C, а PM-16QAM може збільшити цей показник до 16 Тбіт / с.

Однак модуляція високого порядку має свою ціну. Оскільки оптоволокно є нелінійним середовищем передачі даних, кожен символ модуляції може бути переданий тільки на певному рівні максимальної потужності, перед тим, як проявляться нелінійні ефекти і оптичні характеристики істотно скорочується.

Так, наприклад, якщо технологія Super Channel на основі PM-BPSK може використовуватися в магістралях, що перетинають Тихий океан, що було підтверджено експериментами, охоплення Super Channel на базі PM-16QAM може обмежуватися великим мегаполісом.

Насправді, для передачі даних за допомогою DWDM немає універсального формату модуляції, і ідеальний проект впровадження технології Super Channels повинен передбачати можливість зміни способу модуляції за допомогою зміни параметра конфігурації на одній і тій же лінійній карті.

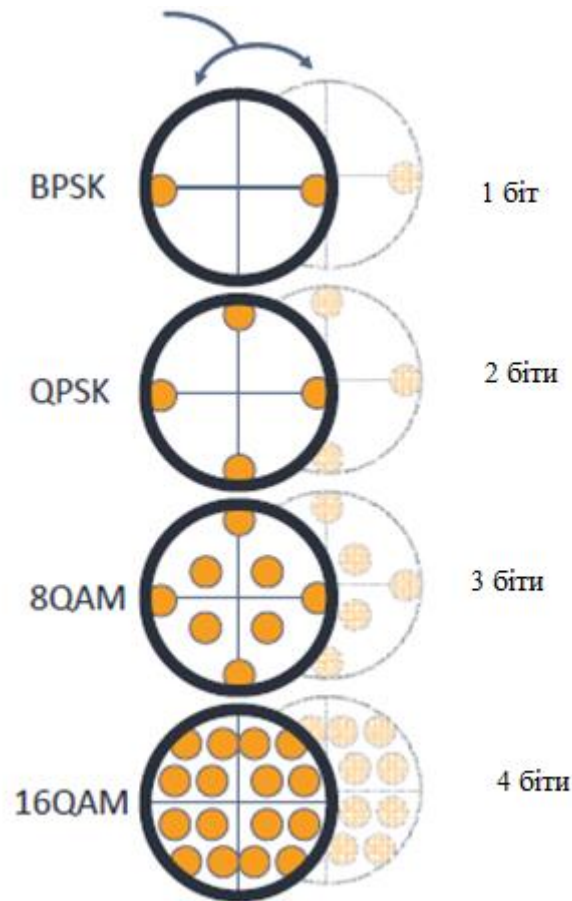


Рис.1.25. Додавання більшої кількості біт на символ

1.6 Висновки по розділу

1. Сьогодні в розвитку обладнання для мультисервісних мереж зв'язку на перший план виходять дві взаємопов'язані потреби:

- збільшення спектральної ефективності (зростання швидкості при тій же займаній спектральній смузі), нехай навіть і зі зниженням максимально досяжної дальності, - для підвищення економічної ефективності використання доступного спектра;

- збільшення каналної швидкості (зокрема, надання клієнту інтерфейсів 400 Гбіт / с, 1 Тбіт / с) - в зв'язку з потенційною стандартизацією і впровадженням в майбутньому клієнтських каналів 400G Ethernet і 1T Ethernet.

2. Перспективним є побудова мереж доступу з використанням сучасного обладнання і сучасних оптичних волокон.

3. Для досягнення пропускної здатності в 1 Тбіт / с потрібно практично однаковий оптоволоконний спектр, незалежно від кількості суб-несних, складових Super Channel.

Це твердження справедливе лише в тому випадку, якщо суб-несні в структурі Super Channel мають можливість «вириватися за межі» традиційної схеми довжини хвиль ІТУ (заданої ІТУ G.694.1). Як правило, згадана схема задає для кожного каналу DWDM крок в 50 ГГц по відношенню до сусідніх, але при використанні фазової модуляції вищого порядку (наприклад, 16QAM) можливо зробити крок між окремими суб-несними в рамках Super Channel істотно менше 50 ГГц.

4. Залишаючись в рамках старої схеми ІТУ суб-несні, які мають більш високу спектральну ефективність, будуть штучно обмежені, що не дозволить реалізувати потенціал збільшення їх показників.

5. Недавнє оновлення стандарту G.694.1 замінює фіксовану схему на більш гнучку (Flex-Grid), яка має крок в 12.5 ГГц. Зараз побудова каналів з використанням численних структурних блоків Flex-Grid дозволяє досягти збігу зі спектральною шириною Super Channel.

РОЗДІЛ 2 АНАЛІЗ ПОБУДОВИ ІСНУЮЧИХ МЕРЕЖ ДОСТУПУ

2.1 Аналіз технологій побудови існуючих мереж доступу

Однією з найперспективніших технологій високошвидкісного доступу в Інтернеті є ADSL. Вона дозволяє телекомунікаційним компаніям організувати приватний захищений канал зв'язку між кінцевим користувачем та інтернет-провайдером. Її головні позитивні властивості — використання для передачі трафіка існуючих телефонних ліній (із збереженням телефонного номера) і висока швидкість передачі даних (до 8 Мбіт/с від провайдера до абонента і до 1,5 Мбіт/с у зворотному напрямі).

Рішення, що існують сьогодні, для побудови таких мереж можна умовно поділити на дві групи. Перша використовує обладнання, засноване на протоколі АТМ. Друга — обладнання на базі мережного протоколу IP/Ethernet, основними перевагами якої є:

- невисока вартість за рахунок використання технології IP і високої інтеграції портів на модемних платах;
- підтримка повного спектра DSL-технологій: існує можливість використовувати в одному комутаторі модулів VDSL, ADSL і G.SHDSL;
- VLAN пропозиції для безпеки: VLAN використовується для розділення трафіка окремих користувачів і забезпечення їх безпеки;
- можливість поетапного нарощування вузла доступу, починаючи з 24 портів.

Типове технічне рішення щодо побудови вузлів доступу в Інтернет включає такі компоненти: абонентське обладнання; обладнання вузла доступу з прив'язкою до існуючої транспортної мережі; програмно-апаратний комплекс для здійснення управління, білінгу, тарифікації. Розглянемо кожний з них детальніше.

Як «абонентський комплект» для ADSL-ліній використовують модеми. Як обладнання для вузла доступу застосовуються мультиплектори доступу

DSLAM. Вибір конкретного пристрою залежить від місткості вузла доступу і потреби в подальшому розвитку.

Для організації транспортної мережі можна запропонувати два типових рішення.

Перше — оптичне кільце на вільних «темних» волокнах з використанням комутаторів з оптичними модулями FastEthernet або GigabitEthernet. Цей варіант дозволяє будувати мережі, які надійніші та краще масштабуються, тому з'являється можливість підключати в кожному вузлі доступу декілька ADSL-комутаторів, а механізми резервування трафіка підвищують надійність.

Друге — оптичні лінії типу «Point-to-point» або «зірка» з використанням Ethernet-медіаконверторів «мідь-оптика».

Для реалізації функцій управління і тарифікації абонентів необхідно використовувати маршрутизатор. Маршрутизатор виконує функції керування трафіком і забезпечення безпеки.

Сучасний стан розвитку галузі телекомунікації в Україні свідчить про те, що найбільш перспективним підходом до побудови мультисервісних мереж є концепція NGN (Next Generation Network), яка передбачає багаторівневу, ієрархічну структуру телекомунікаційної системи. При цьому ефективність виконання функцій на кожному рівні ієрархії цієї цілісної системи значною мірою залежить від структури та функціональних характеристик інших рівнів, а з іншого боку, має суттєвий вплив на процеси, які відбуваються на інших рівнях системи.

Під час проектування телекомунікаційних систем необхідно враховувати їх складну багаторівневу архітектуру, в якій рівні технологічної ієрархії є накладеними мережами, що використовують різні технології. При цьому логічному зв'язку на верхньому рівні ієрархії в загальному випадку можуть відповідати кілька альтернативних шляхів на більш низькому рівні. Особливо гостро ця проблема постає, коли при вирішенні задач синтезу необхідно зокрема визначити фізичні та логічні зв'язки між елементами на

різних рівнях системи, забезпечивши при цьому сумісність різних телекомунікаційних технологій.

Щодо вирішення задач параметрично синтезу телекомунікаційних систем, необхідно зазначити, що інформаційні потоки сучасних мультисервісних мереж мають властивості, які суттєво відрізняються від прийнятих в класичній теорії телетрафіка моделей. Методи параметричного синтезу таких мереж мають будуватися на використанні моделей самоподібних (фрактальних) процесів, що викликає потребу в значній корекції методів параметричної оптимізації мережних структур.

Перспективна архітектура мереж нового покоління (NGN) припускає створення мультисервісної мережі з винесенням функціональності послуг в граничні вузли мережі, створення спеціальної підсистеми керування послугами у вигляді окремої мережевої підсистеми, а також розширення номенклатури інтерфейсів для підключення устаткування постачальників послуг. Сутність мережі нового покоління полягає у переході від багатоплатформності до простої та ефективної мережі, розробленої спеціально для того, щоб надавати всі види послуг. З погляду технології перехід від традиційної мережі до мережі нового покоління є переходом від окремого існування мережі з комутацією каналів і мережі з комутацією пакетів до мультисервісних мереж, що здібні функціонувати як в першому, так і в другому режимах комутації. У результаті можна одержати мережі, що пристосовані до всіх видів послуг. Цими мережами буде набагато легше керувати, і водночас контроль за якістю послуг великою мірою перейде до самих клієнтів.

NGN характеризується такими фундаментальними аспектами [1]:

- пакетна передача;
- розділення функцій постачальника послуг та оператора телекомунікацій;

- підтримка широкого спектру послуг, прикладень і технологій: зв'язок у реальному часі, потокова передача, зв'язок не у реальному часі, мультимедіа-послуги;

- широкосмуговий зв'язок з потрібною наскрізною якістю і прозорими з'єднаннями;

- взаємодія з існуючими мережами через відкриті інтерфейси;

- рухливість абонента;

- необмежений доступ користувача до послуг різних провайдерів;

- єдині характеристики для однієї і тієї ж послуги, що надається різними провайдерами;

- конвергенція фіксованого і рухомого зв'язку. Базовим принципом концепції NGN є відділення друг від друга функцій перенесення і комутації, функцій керування викликом і функцій керування послугами.

Функціональна модель мереж NGN, що представлена на рисунку 1, має три рівня:

- транспортний рівень;

- рівень керування комутацією і передачею інформації;

- рівень керування послугами.

Основу мережі NGN складає універсальна транспортна мережа, яка реалізує функції транспортного рівня і рівня керування комутацією і передачею. До складу транспортної мережі NGN можуть входити:

- транзитні вузли, що виконують функції перенесення і комутації;

- кінцеві вузли, що забезпечують доступ абонентів до мультисервісної мережі;

- контролери сигналізації, які виконують функції обробки інформації сигналізації, керування викликами і з'єднаннями; - шлюзи, що дозволяють здійснити підключення традиційних мереж зв'язку. Контролери сигналізації можуть бути винесені в окремі пристрої, що призначені для обслуговування декількох вузлів комутації.

Використовування загальних контролерів дозволяє розглядати їх як єдину систему комутації, розподілену по мережі.

Таке рішення не тільки спрощує алгоритми встановлення з'єднань, але і є найбільш економічним для операторів і постачальників послуг, так як дозволяє замінити дорогі системи комутації великого об'єму невеликими, гнучкими і доступними за вартістю системами.

Побудова мультисервісних мереж повинна відповідати дворівневій архітектурі, що складається з регіонального і магістрального рівнів. Це створить умови для повсюдного впровадження інфокомунікаційних послуг і рішення задач забезпечення структурної надійності та нормування показників якості послуг. На регіональному рівні мультисервісна мережа повинна забезпечувати підключення абонентів і надання транспортних та інфокомунікаційних послуг, а також забезпечувати можливість взаємодії з аналогічними послугами інших регіональних мереж. На магістральному рівні мультисервісна мережа повинна забезпечувати надання послуг перенесення для взаємодії мультисервісних регіональних мереж, а також для передачі навантаження всіх існуючих мереж. Під мережею доступу розуміється системно-мережева структура, яка складається з абонентних ліній, вузлів доступу і систем передачі, що призначена для організації підключення користувачів до ресурсів регіональних мереж.

Одним з основоположних принципів, які є основою архітектури управління для NGN, є принцип орієнтованості архітектури управління на послуги (SOA- Service-Oriented Architecture) [2]. Сервіс-орієнтовна архітектура - це компонентна модель, яка зв'язує різні сервіси за допомогою чітко визначених інтерфейсів та угод між ними. Інтерфейси визначаються незалежним способом, і не залежать від апаратної платформи, операційної системи або мови програмування, на якому реалізований сервіс. Такий підхід дозволяє створювати послуги на різних системах, які взаємодіють одна з одною одноманітним і стандартним чином. SOA надає гнучкий метод комбінування і багаторазового використання компонентів для побудови складних розподілених програмних комплексів.

Головні переваги SOA: швидша адаптація до вимог бізнесу, що змінюються, скорочення витрат на інтеграцію нових послуг, а також підтримку тих, що існують. Основні особливості SOA:

- наявність незалежного інтерфейсу між послугами, не пов'язаного жорстко з конкретною реалізацією.
- будь-яка дана послуга може приймати роль клієнта або сервера стосовно відношення до іншої послуги залежно від ситуації;
- парадигма «знайти - пов'язати - виконати» для зв'язку між послугами. Споживач послуг запрошує системний реєстр, що зберігає список доступних послуг, які відповідають його критеріям. Як тільки така послуга знайдена, замовник підключається до послуги, що надається SOA;
- інкапсульований життєвий цикл об'єктів, що беруть участь в транзакціях бізнесу.

Архітектура SOA, підтримує зміни в моделі ведення бізнесу і будується так, щоб ізолювати вплив модифікації одного компоненту на решту частини середовища. Рішення на базі сервіс-орієнтовної архітектури дозволяють використовувати переваги розподілених послуг і забезпечують взаємодію бізнес-процесів, дозволяючи оптимізувати процес управління мережею.



Рисунок 2.1 – Архітектура SOA

Мультисервісні мережі, використовуючи єдину транспортну інфраструктуру, можуть передавати трафік різного роду: голосовий трафік, сигналізацію, трафік даних, мультимедіа-трафік.

Створення мультисервісних мереж здійснюється на базі різноманітних технологій, як на платформі IP (IP VPN), так і на базі виділених каналів зв'язку. На магістральному рівні найбільш відомі технології IP/MPLS, Packet over SONET/SDH, POS, ATM, xGE, DWDM, CWDM, RPR. Велика частина магістральних мультисервісних мереж будується на основі технологій POS, DWDM, які отримали значне розповсюдження, а також IP/MPLS, які є особливо перспективними при значній широті обхвату і великій кількості споживачів.

Агрегація на рівні міста виконується на базі Gigabit Ethernet, ATM, CWDM, IP/MPLS. Як технологій агрегації доступу і послуг може використовуватися набір підходів, що визначаються вартістю підключення, необхідною пропускною спроможністю каналів і забезпеченням необхідної якості обслуговування, а також вже існуючою інфраструктурою, поверх якої створюється мультисервісна мережа.

Це, наприклад, Fast/Gigabit Ethernet, ISDN, xDSL, мережі кабельного телебачення, оптичні абонентні мережі, безпроводні мережі Wi-Fi і WiMAX. Технологія xDSL для організації високошвидкісного доступу дозволяє використовувати вже наявну телефонну мережу.

2.2 Особливості впровадження технології flex-grid

На рисунку 3.1 представлені два приклади: терабітні Super Channel на базі PM-QPSK з шириною 375 ГГц, і терабітні Super Channel на базі PM-16QAM зі спектральною шириною близько 200 ГГц.

Використовуючи ресурс захисних смуг між несними частотами, які були частиною структури старої фіксованою схеми, гнучка система Flex-Grid на базі модуляції PM-16QAM теоретично здатна підтримувати продуктивність на рівні близько 20 Тбіт / с в діапазоні C, хоча зниження

оптичних характеристик на даному етапі розвитку технології обмежить область її застосування великими містами.

Гнучка схема Flex-Grid дозволить постачальникам послуг підвищити продуктивність своїх оптичних каналів в довгостроковій перспективі. Однак в найближчому майбутньому сервіс-провайдерам потрібна технологія Super Channel, яка може бути впроваджена на базі вже існуючих лінійних систем DWDM.

Таким чином, перше покоління комерційних продуктів типу Super Channel будуть використовувати канали з «розділеним спектром» - термін, створений IETF [4].

Super Channel з розділеним спектром може створюватися на базі модульних ліній G694.1 з кроком 25 ГГц або 50 ГГц і забезпечить плавний перехід від фіксованої архітектури до гнучкої. При цьому подібне рішення зможе запропонувати необхідні можливості операційного масштабування і забезпечить рівень втрат не вище 20-25% від максимального розрахункового оптоволоконного спектра (виходячи з модуляції PM-QPSK).

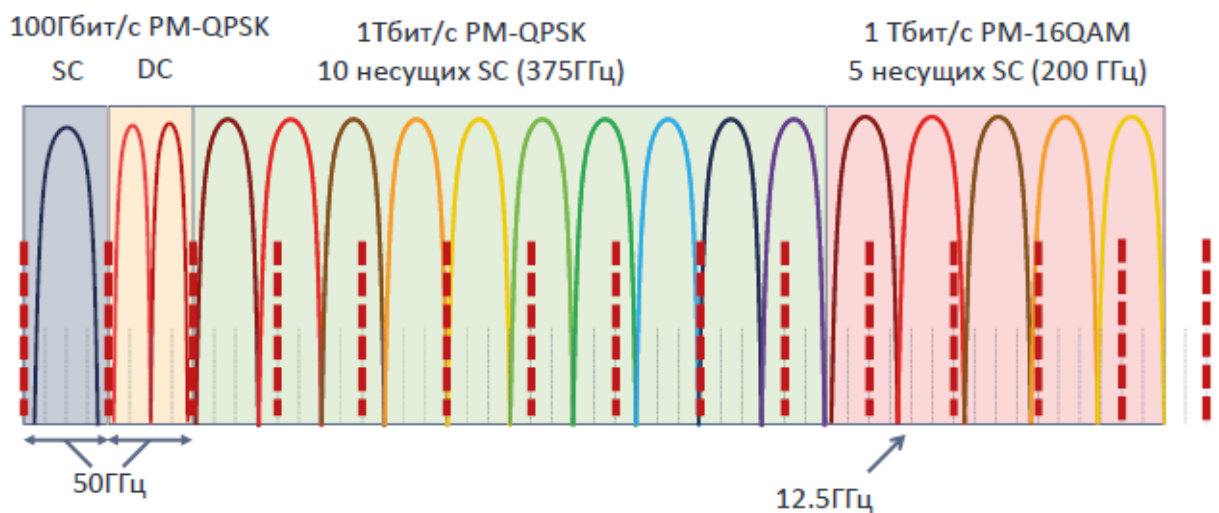


Рис.3.1. Схема ITU Flex-Grid Джерело [9]

З наведеного вище опису стає ясно, що метод гнучкої когерентної модуляції дозволяє сервіс-провайдерам підвищувати пропускну здатність оптичного каналу за рахунок його протяжності.

Проблема відстані передачі в разі використання модуляції високого рівня виникає з нелінійної природи оптоволокна. Але ця нелінійна гранична величина ініціюється щільністю оптичної потужності всередині світловоду.

При збільшенні останньої можна відсунути кордон, за якою вступає в силу нелінійне обмеження. Світловоди зі значною ефективною апертурою, такі як Corning LEAF, присутні на ринку вже багато років і були використані в мільйонах кілометрів оптоволоконних мереж.

Не так давно були розроблені підводні оптичні кабелі з великим світловодом і наднизьким показником втрат, які дозволяють використовувати модуляцію високого порядку (наприклад, PM-QPSK), і призначені для використання в підводних магістралях надвеликої дальності.

Сумнівно, що постачальники послуг зможуть узгодити виділення інвестицій на будівництво заводу з виробництва нового типу оптичного волокна, тому необхідно знайти спосіб, який дозволив би здійснювати передачі високого порядку на великі відстані з використанням існуючої інфраструктури.

Технологія цифрової обробки сигналів (DSP), що компенсує як хроматичну, так і поляризаційну дисперсію, є частиною «когерентної технології».

Нелінійна компенсація була продемонстрована в лабораторних умовах, але буде потрібно істотне збільшення продуктивності комерційної технології DSP, щоб вона змогла стати частиною масового продукту.

Цікавим технічним завданням в рамках архітектури Super Channel представляється збільшення гнучкості контейнера даних для оптичних мереж (OTN). Діюча ієрархія OTN включає ODU0 (1,25 Гбіт / с), ODU1 (2,5 Гбіт / с), ODU2 (10 Гбіт / с), ODU3 (40 Гбіт / с), ODU4 (100 Гбіт / с), і ODUflex (nx 1,25 Гбіт / с).

ODUflex став відповіддю ІТУ-Т на більш гнучкі контейнери даних з більш низькою швидкістю обміну, що дозволяють впоратися з «незвичайними» показниками експлуатаційних характеристик. Оскільки канали Super Channel можуть змінюватися за показником загальної

масштабованості в залежності від поставлених проектувальником мережі обробної здатності і охоплення, необхідно визначити «адаптивний» контейнер даних OTN, який може калібрувати відповідно.

У грудні 2011 року на зустрічі Дослідницькій групі ITU Study Group 15 пропозиція створити контейнер «OTUadapt» отримала широку підтримку з боку торгових компаній, постачальників комплектуючих і сервіс-провайдерів.

Подібна гнучкість допомогла б вирішити вічну проблему «невідповідності» контейнерів даних OTN наступному поколінню сервісів Ethernet. Гігабітний, 10 Гбіт / с і 40 Гбіт / с Ethernet - всі мають різні, але суттєві складнощі при перетворенні в OTN.

2.3 Методологія планування мереж на основі технології flex-grid

Методологія планування якісно нових оптичних транспортних мереж повинна ґрунтуватися на низці обов'язкових позицій:

1 Пошук найбільш обґрунтованих можливостей в транспортних мережах (технологій, шляхів, постачальників, обслуговування) по використанню наявних ресурсів щодо планованого трафіку мереж послуг (Мультисервіс);

2 Визначення діапазону використання національних мереж і взаємодії з міжнародними мережами на основі єдиних стандартів (рекомендацій МСЕ-Т) з включенням профілів трафіку (статичного і динамічного);

3 Обґрунтування техніко-економічних показників на основі порівняльних оцінок і моделювання капітальних витрат CAPEX (capital expenditures) і обслуговування OPEX для декількох варіантів, як фіксованих рішень так і рішень з можливостями flexgrid (Elastic Optical Networking).

4 Залучення широкого діапазону інструментів моделювання транспортних мереж, для планування мереж автономно і з урахуванням ресурсів в режимі реального часу, які зазвичай пропонують постачальники мережевого обладнання;

5 Повторення позицій 1 і 4 разом до отримання оптимального або прийняттого результату.

Для оптичних каналів зі швидкісними режимами від 100 Гбіт / с і вище, з форматами flexgrid, подібних документів з проектування поки немає.

Однак є ряд досліджень з практичними висновками для проектування оптичних каналів з форматами, які дозволяють зробити числові оцінки щодо можливої дистанції і організації оптичних каналів на швидкості від 10 до 400 Гбіт / с з урахуванням бітової швидкості на кожній піднесній. Знання дистанції оптичного каналу дозволяє визначити можливий маршрут для організації необхідного по пропускній здатності з'єднання в інтересах клієнта оптичної транспортної мережі.

Для оцінки дистанції запропоновані аналітичні співвідношення, що враховують допустимий коефіцієнт помилок, бітову швидкість, формат кодування і спектральну ефективність для PM-OFDM транспондерів [15]:

$$L = -630,68 \ln(BR) + 4911,7 \text{ км для } QPSK; \quad (3.1)$$

$$L = -193,63 \ln(BR) + 1736,5 \text{ км для } 32QAM; \quad (3.2)$$

$$L = -366,02 \ln(BR) + 3028,2 \text{ км для } 16QAM; \quad (3.3)$$

$$L = -152,19 \ln(BR) + 1248,6 \text{ км для } 64QAM. \quad (3.4)$$

Графічно це представлено у вигляді рисунка 3.2 і рисунка 3.3.

Протяжність
каналу, км

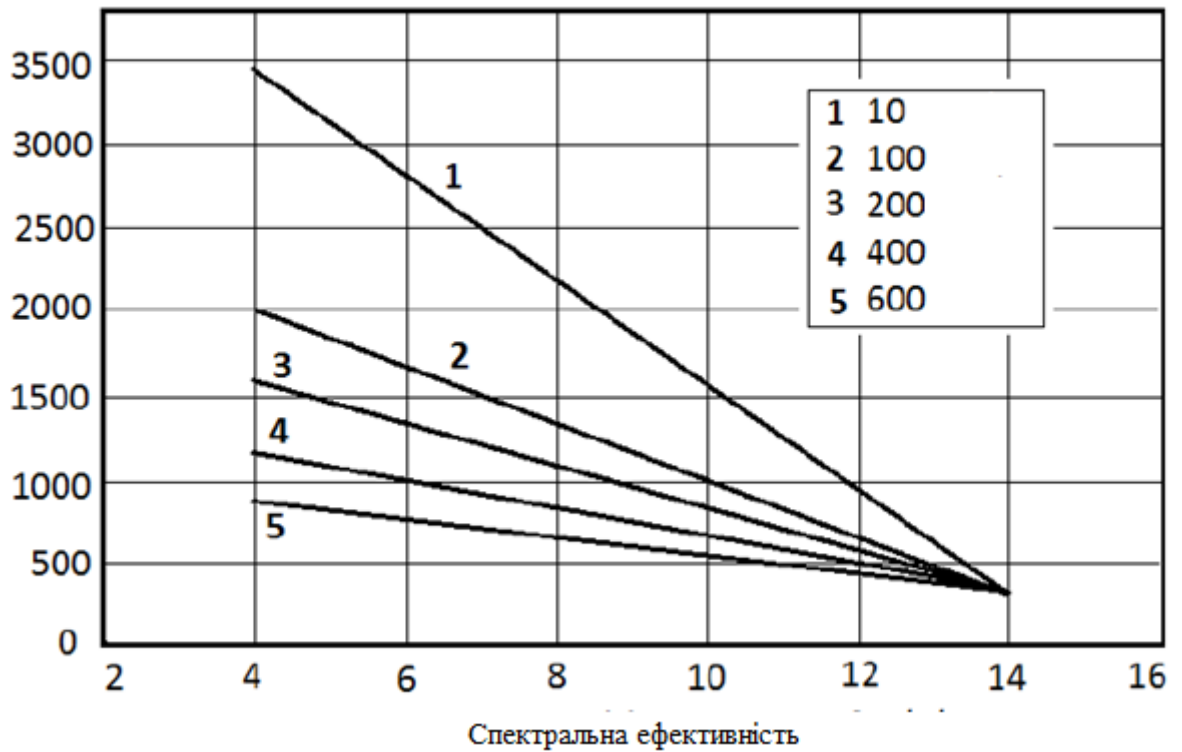


Рис.3.2. Відстані організації оптичних каналів

Протяжність
каналу, км

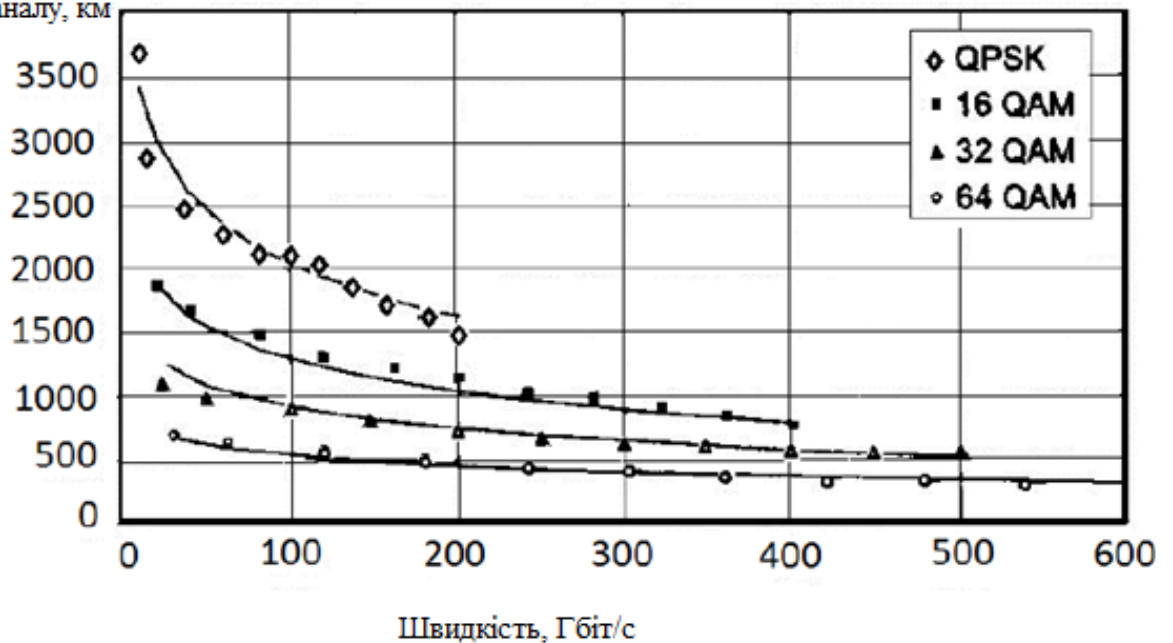


Рис.3.3. Відстані організації оптичних каналів

Застосування рішень flexgrid дозволять створити нові функції оптичних транспортних мереж, в яких новим рішенням буде гнучкий розподіл ресурсів оптичних секцій мультиплексування і смуг пропускання окремих каналів з широкою зміною швидкостей передачі (від 10 Гбіт / с до 1 Тбіт / с)

Інтегрована багатошарова фотонна і цифрова комутація максимізує ефективність капвкладень при максимальній реконфігурації і простоті експлуатації (рисунок 3.4).

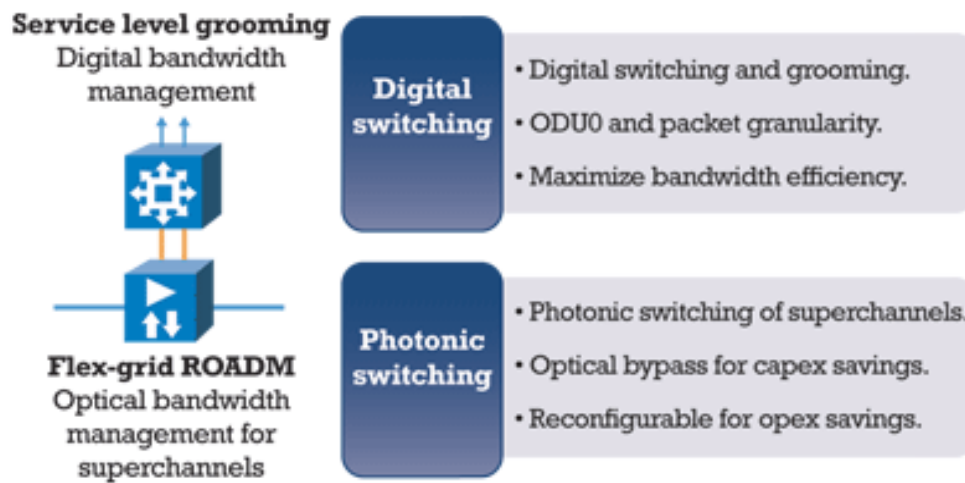


Рис.3.4. Застосування технології flex-grid для максимізації ефективності капітальних вкладень

Розглянемо вигоди від використання Flexgrid в порівнянні зі зворотним мультиплексуванням.

Зворотне мультиплексування - метод, що дозволяє сервісам з більш високим бітрейтом продовжувати використовувати фіксовану сітку. При такому підході канали мультиплексируються разом, щоб сформувати більш високий агрегований бітрейт.

Наприклад, може бути переданий сигнал 400 Гбіт / с використовуючи 4 x 100 Гбіт / с суб-сигналів, кожен з яких може вписуватися в канал 50 ГГц.

Цей підхід має недолік в тому, що використовується більше спектра, ніж абсолютно необхідно: при використанні 4 x 100 Гбіт / с каналів використовується 200 ГГц оптичний спектр в порівнянні з тільки 75 ГГц для передачі власний сигнал 400 Гбіт / с.

Використання більш простої модуляції формату в зворотному мультиплексуванні, однак, означає, що сигнали повинні мати можливість поширюватися на великі відстані.

На рисунку 3.5 представлена базова мережа вузлів ВТ 22: 20 блакитних вузлів - це вузли, які виробляють і отримують трафік, а 2 жовтих вузла забезпечують тільки мережу без будь-якого трафіку.

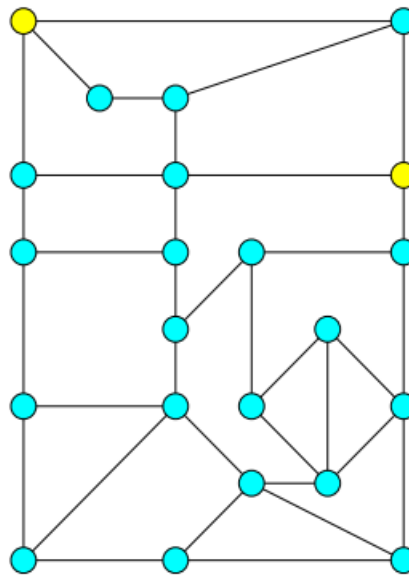


Рис.3.5. Базова мережа вузлів ВТ 22

На рисунку 3.6 представлений графік результатів, що показує криві для передачі 400 Гбіт / с з використанням зворотного мультиплексування 4 x 100 Гбіт / с і 2 x 200 Гбіт / с в порівнянні з передачею через Flexgrid.

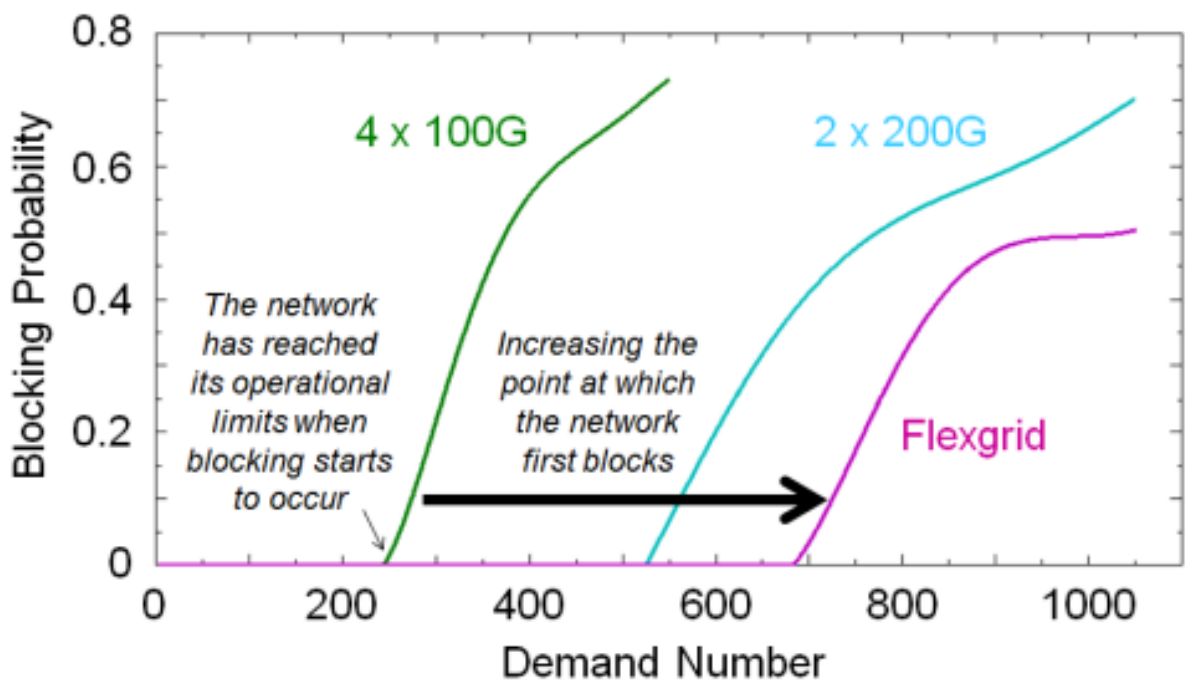


Рис.3.6. Графік, що показує ефективність використання технології flex-grid

Графік, що пояснює принципи використання даної технології, представлений на рисунку 3.7.

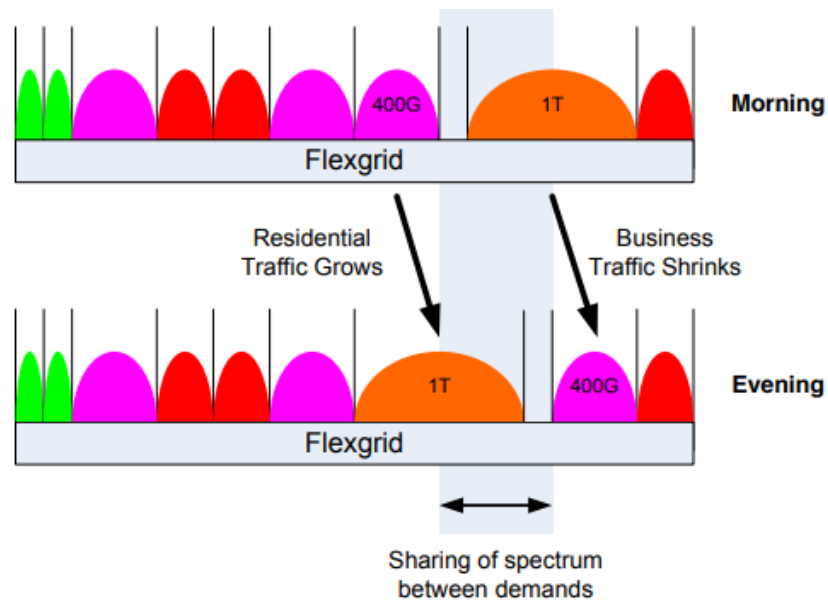


Рис.3.7. Використання технології flex-grid

2.4 Розрахунок оптичного каналу DWDM системи

У разі розрахунку енергетичних параметрів суперканала не можна проводити розрахунок OSNR за методикою ITU-T G.680, а зважаючи на те, що накопичення шумів за рахунок нелінійних перешкод буде перебувати у вузькому діапазоні частот. З цієї причини експериментально отримана формула розрахунку суперканалів з N-секціями:

$$OSNR = \frac{P_{ch}}{P_{ASE} + P_{NLI}}, \quad (3.1)$$

де P_{ch} - рівень потужності в каналі;

P_{ASE} - шум підсилювача;

P_{NLI} - потужність продуктів, що визначається також по формулі:

$$P_{NLI} = \frac{\left(\frac{2}{3}\right)^3 N_s \gamma^2 L_{eff} P_{ch}^3 (\log) \left[\left(\pi^2 |\beta_2| L_{eff} N_{ch}^2 R_s^2 \right) \right]}{\pi^2 |\beta_2| R_s^2} B_n, \quad (3.2)$$

де N_s - кількість WDM секцій;

L_{eff} - ефективна довжина волокна (для ділянки в 100 км становить 23 км), км;

β_2 - коефіцієнт дисперсії волокна ($-20 \text{ пс}^2 / \text{км}$ для SMF), $\text{пс}^2 / \text{км}$;

N_{ch} - кількість каналів в DWDM системі;

B_n - смуга частот, на яку впливає шум (близько $0,1 \text{ нм}$), нм ;

R_s - даний параметр відповідає бітовій швидкості, $\text{біт} / \text{с}$.

При розрахунку суперканалів слід також враховувати параметри оптичного фільтра Найквіста, необхідного для формування смуги частот каналу Δf .

Вибір смуги залежить від відповідного формату модуляції, що використовується в системі (найчастіше використовується DP-QPSK, DP-16 QAM).

При використанні квадратурної модуляції $\Delta f \cong R_s$, а в разі використання квадратурної-амплітудної модуляції $\Delta f \cong 1.1 \cdot R_s$.

Даний фільтр має наступну прямокутну передавальний характеристику:

$$\left(\alpha, \left(f_c - \frac{B}{\alpha} < f < f_c + \frac{B}{\alpha} @ d \right) \right), \quad (3.3)$$

де α - параметр, що оцінює затухання, дБ ;

d - глибина загасання, дБ ;

f_c - центральна частота оптичного сигналу, ГГц ;

B - оптична смуга, ГГц .

В оптичних суперканалах, також істотне значення має вибір оптимального значення оптичної потужності.

На рисунку 3.8 наведені оцінки дальності системи передачі для SMF і NZDSF - волокон при $L_{eff} = 23 \text{ км}$, $R_s = 32 \text{ Гбод} / \text{с}$.

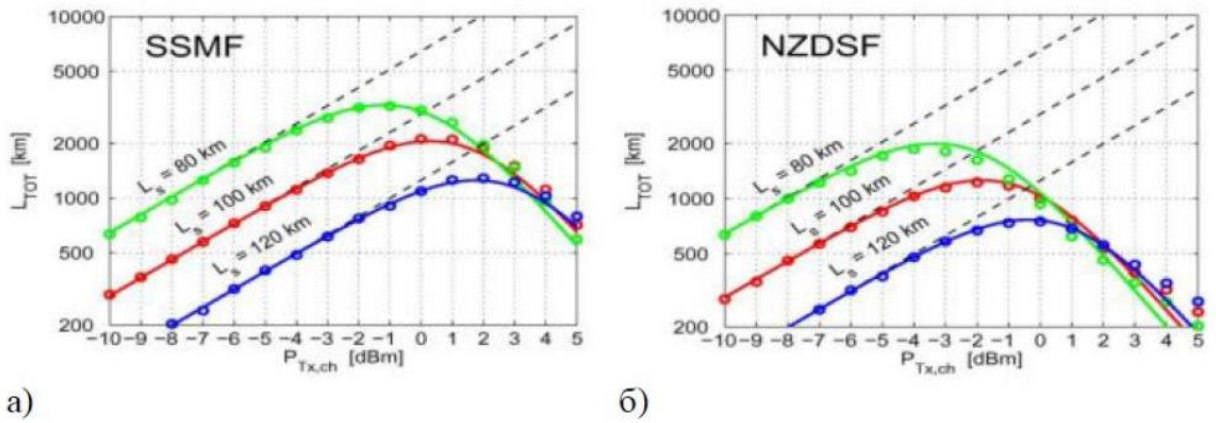


Рис.3.8. Дальність передачі суперканала для оптичної секції з а) SMF - волоконном; б) NZDSF - волоконном (маркери - симуляція, суцільна лінія - аналітична модель)

Концепція формування суперканала ґрунтується на наявності декількох оптичних піднесуть, але метод їх формування в тракті може бути використаний різний.

На рисунку 3.10 представлені спектральні характеристики суперканалу на основі:

- а) WDM системи;
- б) оптичної системи з OFDM;
- в) WDM з використанням закону Найквіста;
- г) OFDM суперканалу.

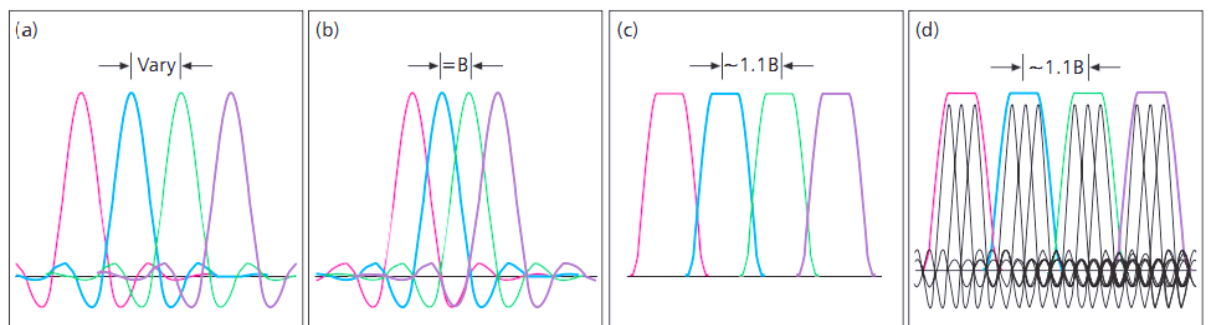


Рис.3.10. Спектральна характеристика різних типів суперканалів

Характеристики магістральних систем зв'язку в основному обмежують дві основні причини: спонтанні шуми підсилювачів в тракті, а також генерація нелінійних перешкод, за рахунок ефекту Керра в оптичному волокні.

За рахунок когерентного детектування на приймальній стороні, що включає кодування з виправленням помилок на основі різних алгоритмів (FEC, superFEC, softFEC), стає можливою оптична передача без використання компенсаційних елементів (DCM модулі, DSF волокна і т.д.) [10].

Зближення оптичних каналів і перехід до частотної сітки 33ГГц і менш дозволяє значно збільшити пропускну здатність WDM-мережі. При цьому, для оцінки оптичних систем використовується розрахункове співвідношення сигнал-шум (OSNR).

Згідно з рекомендацією ITU-T G.680 при каскадуванні деякого N-ного числа ONE результуюче значення OSNR_{out} можна визначити як:

$$OSNR_{out} = -10 \lg \left(10^{-0,1(OSNR_{in})} + 10^{-0,1(P_{in} - NF - 10 \lg(hf\Delta f))} \right), \quad (3.4)$$

де OSNR_{out} - відношення оптичний сигнал / шум на виході ONE;

OSNR_{in} - відношення оптичний сигнал / шум на вході ONE;

P_{in} - рівень потужності сигналу оптичного каналу на вході ONE;

NF - коефіцієнт шуму ONE;

h - постійна Планка, узгоджена з рівнем потужності (мДж × с);

f - центральна частота оптичного каналу (Гц);

L - втрати на прольоті, дБ;

Δf - смуга частот оптичного каналу (Гц).

Необхідно відзначити, що дане співвідношення враховує тільки накопичення шумів, створюваних підсилювачами, а також загасання в лінії.

Дослідження в цій галузі пропонують здійснювати оцінку енергетичних параметрів системи за допомогою різних розрахункових співвідношень. Наведене співвідношення оцінює вплив чотирьох хвильового зміщення, а також стимульованого розсіювання Рамана:

$$OSNR = 10 \lg \left(\frac{P_{SRS}}{P_{ASE} + P_{FWM}} \right), \quad (3.5)$$

де P_{SRS} - потужність в каналі, з урахуванням ефекту Рамана;

P_{ASE} - потужність спонтанних шумів оптичного підсилювача;

PFWM - потужність шумів, викликаних зміщенням;

Вимушене розсіяння Рамана є істотним оптичним ефектом в DWDM системі.

Дане явище враховує частку потужності, яка переходить з нижчестоящих каналів в вищестоящі в оптичному діапазоні (рисунок 3.10) [10].

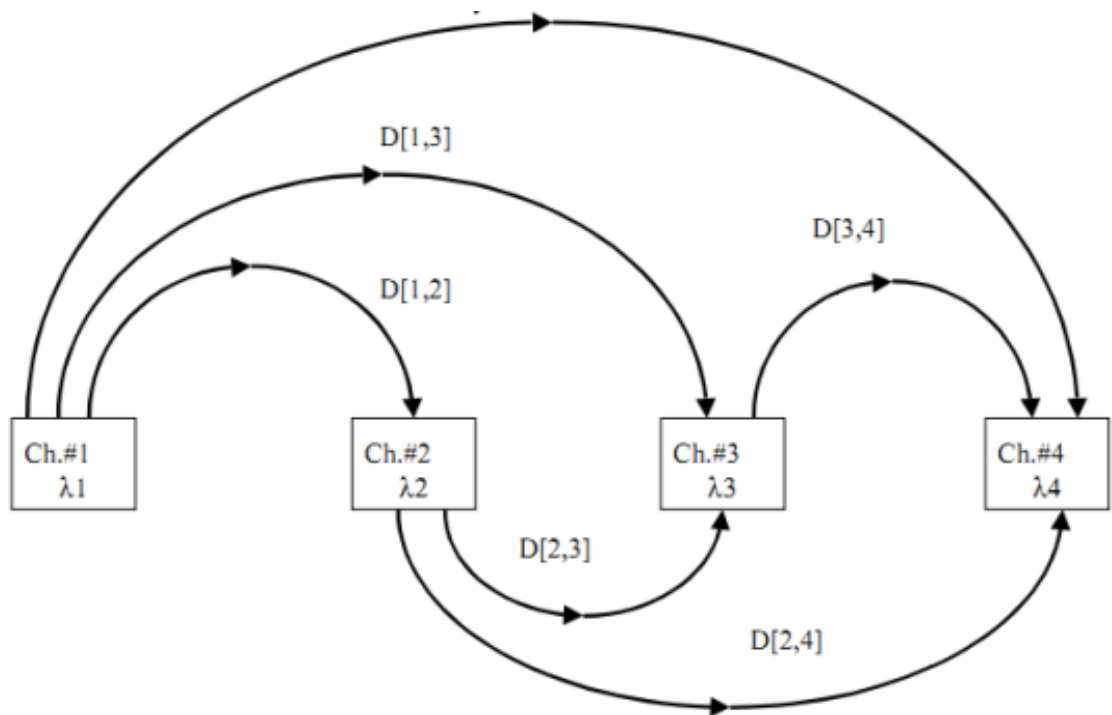


Рис.3.10. Алгоритм міграції оптичної потужності

Розрахункова формула для оптичної потужності при цьому дається у вигляді:

$$P_M(k) = P_T(k) - P_T(k) \cdot \sum_{i=k+1}^N D[k,i] + \sum_{j=1}^{k-1} P_T(j) D[j,k] \quad (3.6)$$

де $P_T(k)$ - потужність, яку випромінює з k -го каналу;

$P_M(k)$ - потужність в k -му каналі, що отримується за рахунок впливу раманівського розсіювання;

$D[k,i]$ - частка потужності, яка перетворюється з j -го каналу в k -ий, за рахунок нелінійності.

Використання двополярного сигналу ускладнюється передача тим, що NRZ сигнали займають суттєву оптичну смугу, що неприйнятно для щільного мультиплексування.

Відповідно до формули 3.4 був проведений розрахунок для декількох смуг оптичного сигналу.

На рисунку 3.11 наведено розрахунок OSNR для 10Гбіт / с системи з різною довжиною прольотів.

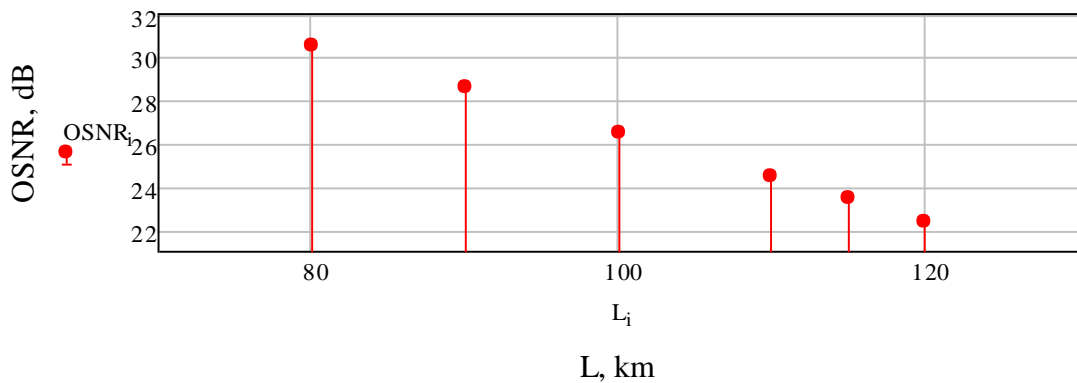


Рис.3.11. Залежність OSNR від довжини секції DWDM

Оптична потужність в DWDM секції розрахована за формулою 4.6, розподіл в спектрі наведено на рисунку 3.2.

Оптичні канали розташовуються з сіткою 100ГГц в С- L-діапазонах. Розрахункові формули одного враховують параметри SSMF волокна стандарту G.652 ($A_{eff} = 80 \text{ мкм}^2$, $g_R = 0,4 \cdot 10^{-13} \text{ Вт}^{-1} \cdot \text{км}^{-1}$).

Розрахунок оптичної потужності проводився для однопрогонової DWDM секції з 80 оптичними каналами.

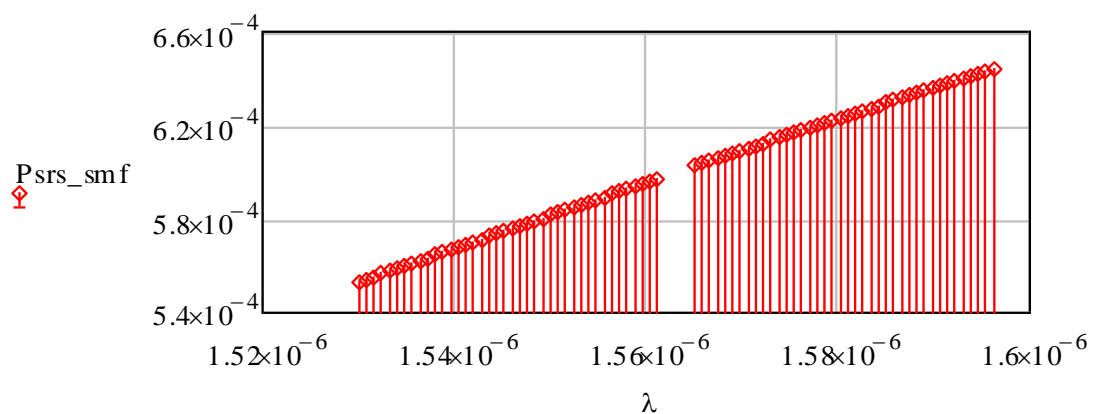


Рис.3.12. Розподіл оптичної потужності в DWDM спектрі

Як видно з рисунку 3.12, розподіл оптичної потужності в спектральних каналах виглядає практично лінійно.

Нелінійність потужності по краях C- і L-діапазону викликана нерівномірністю загасання в вікнах прозорості.

При цьому розрахунок співвідношення сигнал шум можна розрахувати за формулою 3.4.

На рисунку 3.13 наведена залежність для нульового каналу, який терпить найбільший вплив нелінійності.

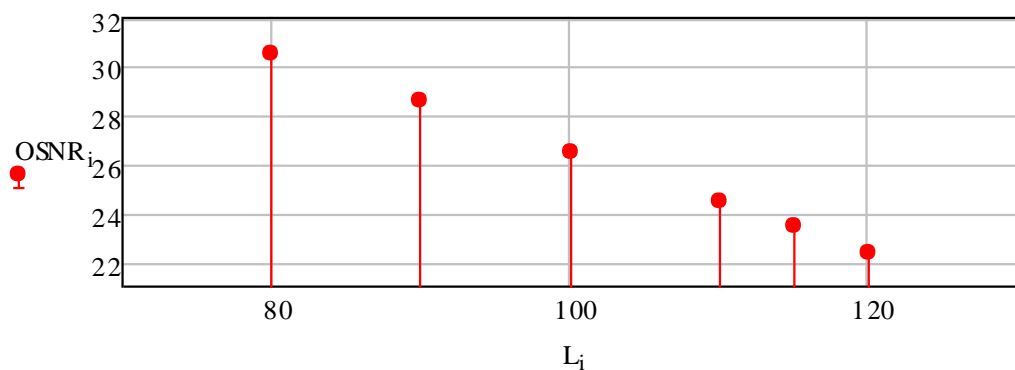


Рис.3.13. Залежність OSNR від довжини секції DWDM для нульового каналу

Провівши апроксимацію даних залежностей можна зробити аналіз OSNR при двох методах розрахунку (рисунок 3.14).

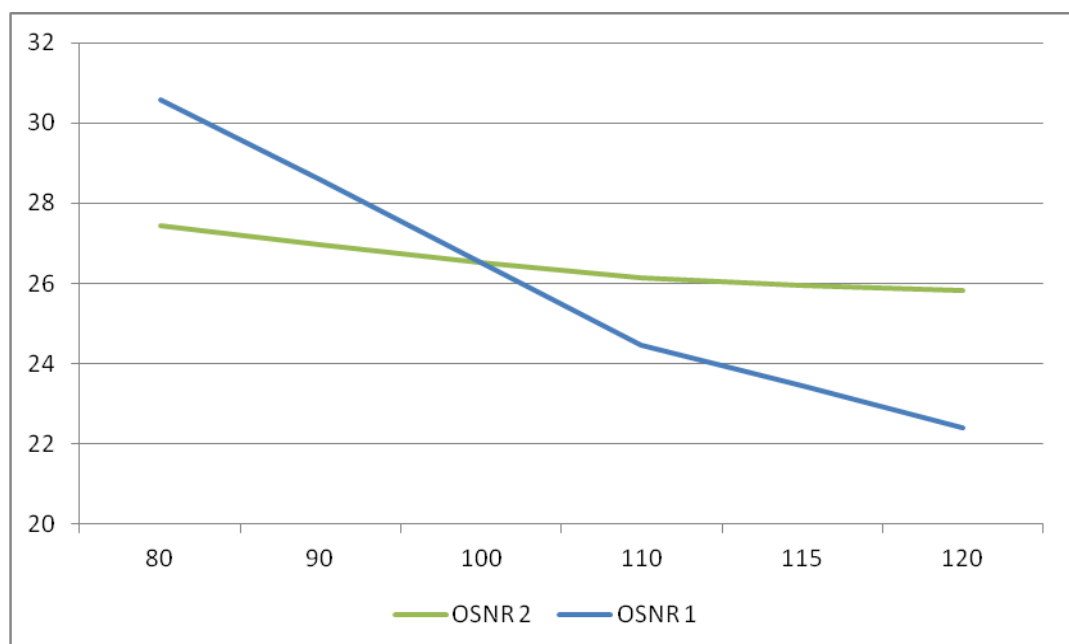


Рис.3.14. Сімейство характеристик OSNR при різних методиках розрахунку на швидкості 10Гбіт / с

Крива OSNR 1 відповідає розрахунковому співвідношенню 1, відповідно до рекомендації ITU-T. Крива OSNR 2 відповідає розрахунковому співвідношенню 2.

Як видно з аналізу рисунків, різниця між кривими при довжині секції 120 км складає 3,42 дБ [10].

2.5 Порівняльна характеристика методів побудови мереж доступу

Розглянемо наступні методи побудови мереж доступу: DSL, Ethernet, FTTH, PON і GPON.

DSL-технологія дозволяє передавати цифрові дані безпосередньо на комп'ютер. Проте, якщо необхідно, сигнал може бути розділений, так, щоб лінія використовувалася одночасно для передачі аналогових і цифрових даних. Перевага в порівнянні з Dial - up очевидно - стає можливим використання Інтернету та телефону - одночасно (тобто під час інтернет підключення можна розмовляти по телефону).

Більшість користувачів DSL використовують так звану, асиметричну DSL (ADSL) лінію. Ця лінія ділить доступні частоти, за якими користувачі можуть завантажити або завантажити необмежений обсяг інформації.

DSL використовує два типи обладнання; одне знаходиться на стороні Інтернет-провайдера, який надає клієнтам послуги, найчастіше це телефонна компанія, а інше - на боці клієнта. Користувач має трансивер DSL на своєму боці, постачальник послуг DSL має мультиплексор доступу DSL (DSLAM) на своєму кінці, яке дозволяє підключатися користувачам до інтернету.

Приклад організації представлений на рисунку 3.15.

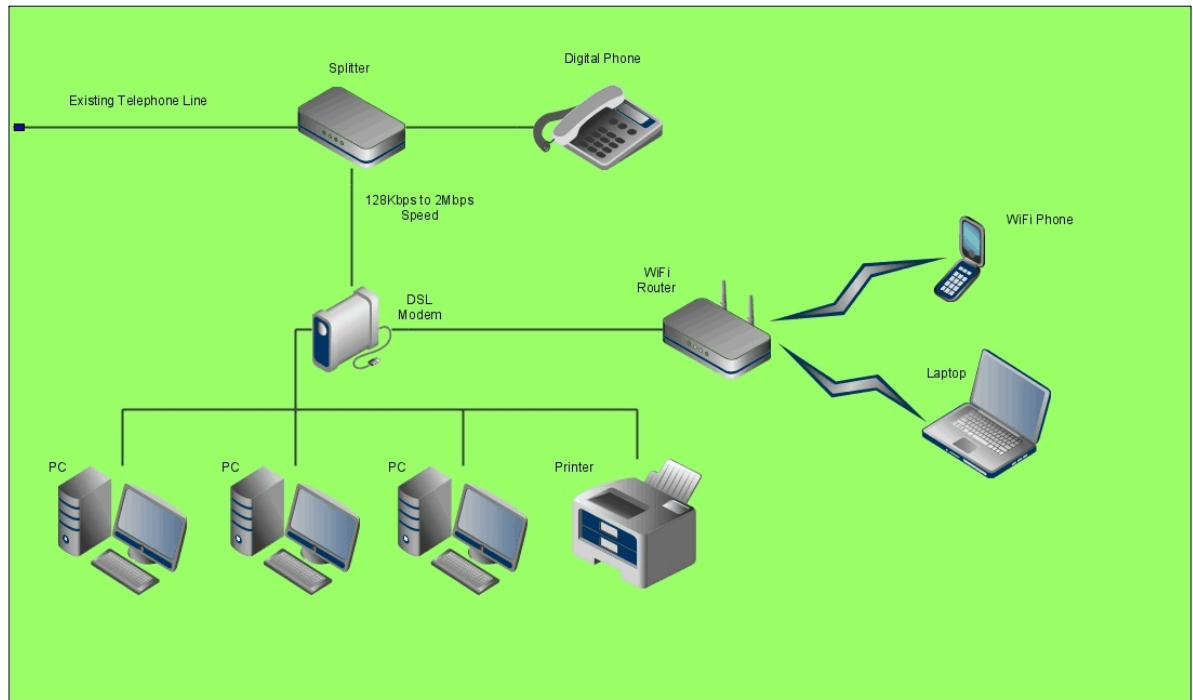


Рисунок 3.15 – Приклад організації мережі DSL

Переваги DSL

- DSL є економічно ефективним з'єднанням, так як воно не вимагає прокладки нових телефонних ліній.
- Простота в експлуатації і установки.
- Де - факто він став першим стандартом для швидкісних підключень, до масового впровадження оптики.
- Інтернет і телефон можна використовувати одночасно.
- Можливість підключити вихід в мережу, де крім телефонної мережі більше нічого немає.

Недоліки DSL

- Швидкість підключення в порівнянні з оптоволоконном;
- Доступність DSL послуг визначається відстанню між користувачем і центральним офісом провайдера;
- В даний час, немає ніякої стандартизації модемів DSL, це означає, що користувачам, можливо, при зміні оператора буде потрібно нове обладнання;
- Послуга зазвичай доступна в міських районах, але не в сільській місцевості;

- Прийом даних (завантаження) відбувається швидше, ніж передача даних (відправка).

- DSL несумісний з волоконно-оптичними лініями.

Ethernet - високошвидкісна технологія, запропонована фірмою 3Com для реалізації мережі зі швидкістю передачі даних 100 Мбіт / с, що зберегла в максимальному ступені особливості 10-мегабітного Ethernet (Ethernet-10) і реалізована у вигляді стандарту 802.3u. Метод доступу - такий же, як в Ethernet-10 - CSMA / CD рівня MAC, що дозволяє використовувати колишнє програмне забезпечення та засоби управління мережами Ethernet.

Всі відмінності Fast Ethernet від Ethernet-10 зосереджені на фізичному рівні. Використовуються 3 варіанти кабельних систем:

- багатомодовий ВОК (використовується 2 волокна);
- вита пара категорії 5 (використовується 2 пари);
- вита пара категорії 3 (використовується 4 пари).

Структура мережі - ієрархічна деревоподібна, побудована на концентраторах (як 10Base-T і 10Base-F), оскільки не використовується коаксіальний кабель.

Діаметр мережі Fast Ethernet скорочений до 200 метрів, що пояснюється зменшенням часу передачі кадру мінімальної довжини в 10 разів за рахунок збільшення швидкості передачі в 10 разів у порівнянні з Ethernet-10. Проте, можлива побудова великих мереж на основі технології Fast Ethernet, завдяки широкому розповсюдженню недорогих високошвидкісних технологій, а також бурхливому розвитку ЛВС на основі комутаторів. При використанні комутаторів протокол Fast Ethernet може працювати в повнодуплексному режимі, в якому немає обмежень на загальну довжину мережі, а залишаються тільки обмеження на довжину фізичних сегментів, що з'єднують сусідні пристрої (адаптер - комутатор або комутатор - комутатор).

Приклад організації представлений на рисунку 3.16.

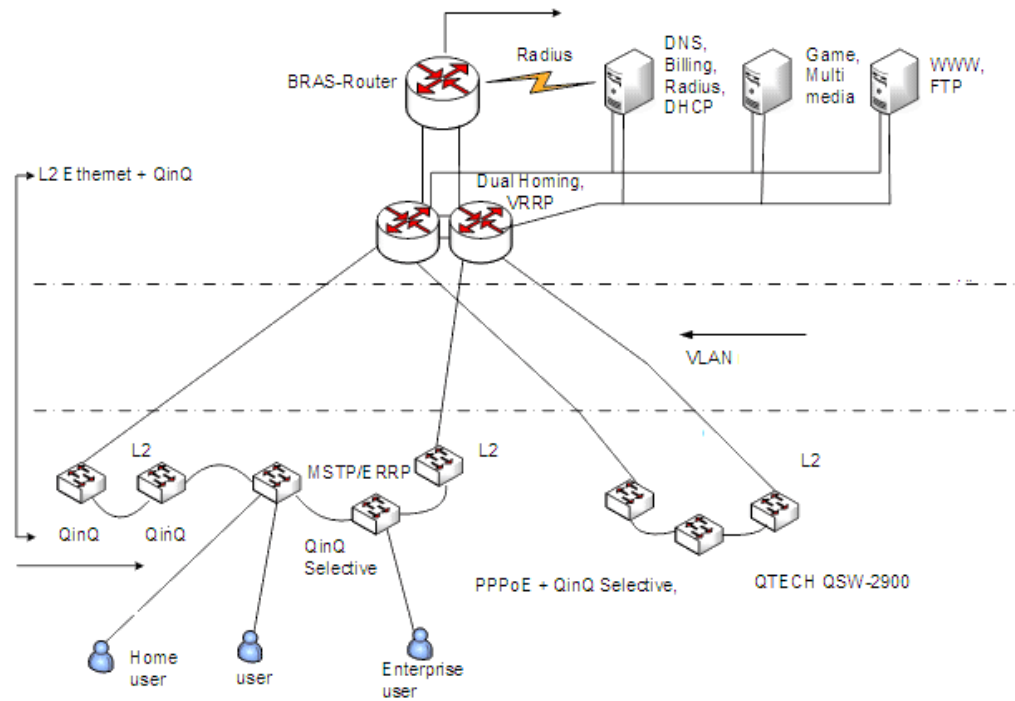


Рисунок 3.16 – Приклад організації мережі

Переваги мережі Ethernet

- Простота установки.
- Добре відома і найбільш поширена мережева технологія.
- Невисока вартість мережевих карт.
- Можливість реалізації з використанням різних типів кабелю і схем прокладки кабельної системи.

Недоліки мережі Ethernet

- Зниження реальної швидкості передачі даних в сильно завантаженій мережі, аж до її повної зупинки, через конфлікти в середовищі передачі даних.
- Труднощі пошуку несправностей: при обриві кабелю відмовляє весь сегмент, і локалізувати несправний вузол або ділянку мережі досить складно.

Для класичного FTTH характерна велика кількість використовуваних волокон (по одному на кожного оптичного споживача, будь то кінцевий абонент або багатоповерхівка), що, в свою чергу, призводить до неефективного використання кабелю за принципом: чим більше ємний кабель, тим більше він неефективно використовується.

Недоліком FTTH навіть в місті є велика кількість проміжних між провайдером і абонентами активних пристроїв доступу та агрегації - вони споживають електроенергію, вимагають регулярного обслуговування, чутливі до перепадів напруги, сильно залежать від температури навколишнього середовища, вологості .

Якщо всі ці недоліки спроектувати на сільську місцевість, де горища і підвали, а також централізована каналізація та мережи живлення доступні далеко не завжди - стає абсолютно не вигідно розвивати мережу і тягнути кабель.

Для вирішення вищевикладених проблем ідеально підходить технологія GPON.

При використанні GPON на 64 абонента використовується всього один оптичний хвилевід, а чотирьохволоконного кабелю вистачить, відповідно, на 256 абонентів. При цьому абоненти можуть знаходитися на достатній відстані один від одного і від найближчого магістрального кабелю.

Невикористаного волокна в кабелі при побудові мережі за технологією PON практично немає, а для ефективного розгортання пасивної оптичної мережі цілком достатньо основного (магістрального) кабелю на 4 або 8 волокон і абонентських «fiberdropcable», які являють собою захищені патчкорди різної довжини.

Однак, найбажанішим плюсом пасивної оптичної мережі є відсутність потреби в живленні проміжних між абонентом і провайдером вузлів. Це відразу знімає ряд питань від енергопостачальних компаній, пожежників та інших проблемних інстанцій. Цей же плюс можна ефективно використовувати в сільській місцевості: проміжні вузли, не прив'язані до живлення, можна розміщувати де завгодно, при цьому значна частина коштів, що йде на підтримку безперебійного живлення, буде зекономлена, також, як і кошти, які закладаються на профілактику і ремонт будь-якого активного обладнання в мережі.

Важливим є і той факт, що настройка всього активного обладнання PON і GPON, що входить в конкретну пасивну мережу, проводиться з одного пристрою - головної станції (OLT). Це значно спрощує роботу системного адміністратора, дозволяючи найбільш ефективно знаходити і усувати несправності, а також виробляти регулярне обслуговування мережі.

Отже, позитивні сторони PON в порівнянні з FTTH:

- Мінімальне використання активного обладнання;
- Мінімізація кабельної інфраструктури;
- Низька вартість обслуговування;
- Можливість інтеграції з кабельним телебаченням;
- Хороша масштабованість;
- Висока щільність абонентських портів.

У той же час, при розгляді технології PON і GPON, потрібно врахувати і її особливості, особливо в порівнянні з лініями «точка-точка»:

- Колективна між абонентами смуга пропускання (загальна середа може не підійти клієнту з точки зору безпеки);
- Пасивні елементи (подільники) ускладнюють діагностику оптичної лінії;
- Можливий вплив несправності обладнання одного абонента на роботу інших;
- Менша вигода в разі реалізації на етапі будівництва.

У мережі GPON для передачі даних потрібно два рівня інкапсуляції. По-перше, інформаційні потоки телефонних мереж (TDM, E1 / T1) і Ethernet-кадри «упаковуються» в кадри GEM (GTC Encapsulation Method) зі змінною довжиною корисного навантаження, які мають GFP-подібний формат (Generic Frame Procedure, ITU-T G.7401). По-друге, осередки ATM і кадри GEM спільно інкапсулюються в кадри GTC, які в підсумку передаються по мережі PON.

В технології GEM здійснюється фрагментація кадрів, яка відсутня в технології GPON, що зменшує ефективність використання смуги пропускання.

Порівнюючи технології GPON і PON виділимо основні переваги GPON над PON:

- Повністю стандартизована технологія (рекомендація ITU-T G.984);
- Повністю стандартизований протокол управління OMCI (протокол TR-069);
- Використання лінійного коду NRZ без надмірності;
- Більш ефективні механізми для передачі TDM-трафіку.

Недоліки:

- Більш висока вартість, ніж PON;
- Більш складна конфігурація обладнання.

Проте найкращим методом для побудови мереж доступу являється побудова мереж за технологією GPON.

2.6 Висновки до розділу

1. Використання розглянутої технології для проектування мультисервісної мережі є доцільним та перспективним.

2. Вибір смуги залежить від відповідного формату модуляції, що використовується в системі (найчастіше використовується DP-QPSK, DP-16 QAM).

3. При використанні квадратурної модуляції $\Delta f \cong R_s$, а в разі використання квадратурної-амплітудної модуляції $\Delta f \cong 1.1 \cdot R_s$.

4. Технологія GPON являється найбільш перспективною технологією побудови мультисервісних мереж доступу.

РОЗДІЛ 3 МЕТОДИКА ПОБУДОВИ МЕРЕЖ ДОСТУПУ МУЛЬТИСЕРВІСНОЇ МЕРЕЖІ

Прикладом устаткування в приміщенні абонента може бути як звичайний телефонний апарат (квартирний сектор), так і складний комплекс апаратно-програмних засобів – АТС для установ (УАТС), локальна мережа Ethernet і інше встаткування (виробничий сектор). У першому випадку функції мережі доступу може виконувати абонентська лінія, що представляє собою двопроводовий фізичний ланцюг. У другому випадку до складу мережі доступу (для існуючої системи електрозв'язку) повинні входити:

- цифровий тракт Е1 (або кілька таких трактів) для підключення УАТС до місцевої телефонної мережі;
- цифровий тракт, що підтримує стек протоколів TCP/IP, для підключення локальної мережі до Internet;
- орендовані лінії, якщо вони необхідні для підключення того встаткування, яке не використовує телефонну мережу або Internet.

Основне призначення мережі доступу – забезпечення надійного й високоякісного зв'язку між усіма видами встаткування, установленого в приміщенні потенційних клієнтів оператора та відповідними транзитними мережами. Одна з істотних особливостей мережі доступу – тривале використання технології доставки інформації.

Мережа доступу є найбільш капіталомісткою, тому жоден елемент телефонної системи не перебував настільки довго в стані «стагнації», як мережа доступу.

Така ситуація пояснюється двома основними причинами:

- донедавна не існувало технічних засобів, за допомогою яких можна було б будувати звичайні (вузькосмугові) мережі доступу більш економічно;
- фізичні ланцюги забезпечували потреби в інформаційному обміні (поки він не зажадав могутніших ресурсів, ніж канал ТЧ) і підтримували значну частину нових послуг.

У цей час перед операторами зв'язку, що працюють в умовах жорсткої конкуренції, стоїть завдання забезпечення широкого спектра телекомунікаційних послуг, який не обмежується функціональними можливостями традиційної телефонії.

Це завдання вимагає перегляду підходів до побудови телекомунікаційних мереж. Одне з найсучасніших розв'язків – створення мультисервісної мережі нового покоління. Такий підхід дозволяє економічно розбудовувати телекомунікаційну систему, утримуючи експлуатаційні витрати в розумних межах. У якості базової технології для побудови таких мереж усе частіше виступає протокол IP (Internet Protocol).

З іншого боку, телефонний зв'язок як і раніше залишається найважливішим з надаваних послуг. Номерна ємність телефонних мереж продовжує збільшуватися в ряді країн, у тому числі в Україні й країнах колишнього СРСР. Більше того, поки основну частку доходів оператори зв'язку одержують за рахунок надання послуг телефонії.

Таким чином, оператор повинен так розбудовувати мережу, щоб забезпечити надання традиційних послуг телефонії й ефективно вводити нові види послуг. Ці послуги часто мають на увазі використання технологій, що відрізняються від традиційної "комутації каналів". Саме для таких мереж розробляється мультисервісний абонентський концентратор (МАК). Він дозволяє реалізувати мультисервісний доступ, як до телефонних мереж, так і до мереж передачі даних з комутацією пакетів. У телефонних мережах загального користування устаткування МАК підключається до опорних цифрових АТС на основі стандартного інтерфейсу V5.2 по трактах E1 (рекомендація ІТУ-Т G.703) зі швидкістю передачі 2048 Кбіт/с. Його підключення до IP-Мережі здійснюється по стандартному інтерфейсу Ethernet 100 Base -T.

Мультисервісний абонентський концентратор забезпечує можливість поступового переходу до NGN. На рис. 4.1 наведена схема підключення МАК до ТМЗК, програмного комутатора (Softswitch) і мережі з комутацією пакетів Internet.

З абонентської сторони до МАК можуть підключатися практично всі види термінального встаткування. На рис. 4.1 показані найбільш типові ситуації:

- підключення ТА по двопроводовому фізичному ланцюга (по індивідуальній абонентській лінії);
- об'єднання ТА й LAN у пристрої інтегрованого доступу (IAD), яке з'єднується з МАК цифровою лінією SHDSL;
- підключення групи ТА до МАК через систему RMP (бездротовий множинний доступ), що вимагає наявності в базовій станції (БС) стандартного стику із цифровим комутаційним устаткуванням.

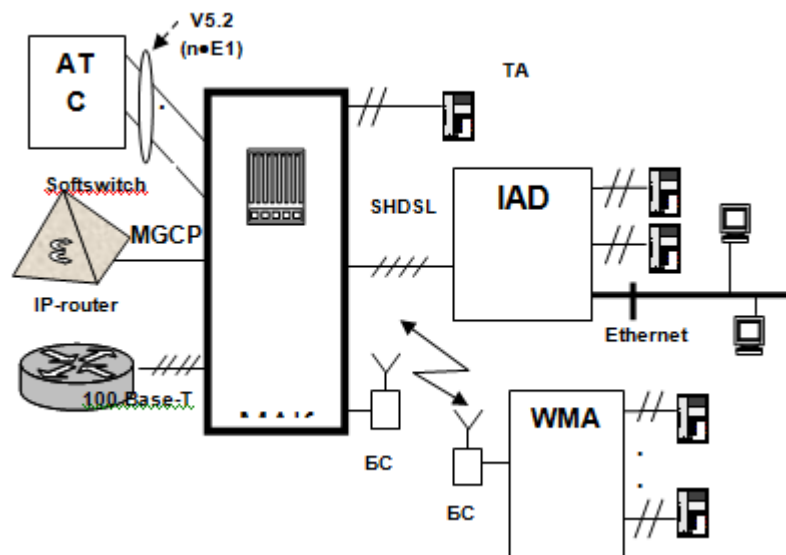


Рис 3.1 Схема використання МАК

На рис. 3.1 використовуються наступні позначення:

MGCP (Simple Gateway Control Protocol) – простий протокол управління шлюзом, призначений для управління концентраторами, взаємодії із ТМЗК і станціями інших мереж;

100 Base-T – позначення специфікації фізичного рівня Fast Ethernet зі швидкістю передачі 100 Мбіт/с (стандарт 802.3u). У даній технології в якості середовища передачі використовується волоконно-оптичний кабель (символ F), або дві кручені пари (символ T) категорії 5, або чотири кручені пари категорії 3 і вище. Термін Base позначає пряму (немодульовану) передачу;

Softswitch – програмний комутатор (спеціально створювався для обох типів мереж – ТМЗК і IP, у кожній з них це встаткування буде сприйматися

по-різному: для роботи в ТМЗК Softswitch повинен виконувати функції пункту сигналізації ЗКС № 7 і мати інтерфейси для підтримки інших систем сигналізації ТМЗК (EDSS1, 2ВСК, R2 і ін.); у мережі з комутацією пакетів Softswitch виступає в якості єдиного пристрою управління транспортними шлюзами (Media Gateway Controller, MGC) і/або контролера сигналізації (Signaling Controller, SC), диспетчера H.323 і серверів SIP (Signaling Initial Protocol));

SHDSL (High-bit-rate Digital Subscriber Line) – чотирьохпроводова високошвидкісна цифрова абонентська лінія, по якій забезпечується передача потоку зі швидкістю 2,048 Мбіт/с (E1) з використанням кодування типу 2B1Q (рекомендація ANSI);

IAD (Integrated Access Device) – інтегрований пристрій доступу;

WMA (Wireless Multiple Access) – устаткування бездротового множинного доступу.

Устаткування WMA на стороні концентратора повинне підключатися по стандартному тракту E1 або через абонентські комплекти.

Устаткування МАК дозволяє підключати користувачів, що обслуговуються, до декількох мережам. Типова вимога (на початковому етапі формування NGN) полягає в тому, що потоки інформації повинні направлятися у дві мережі. По-перше, по інтерфейсу V5.2 через опорну АТС здійснюється доступ до ТМЗК. Для цього між МАК і АТС може бути організовано кілька трактів E1. По-друге, повинен бути реалізований доступ до пакетної мережі з використанням технології Ethernet. На рисунку показаний маршрутизатор (IP Router), який забезпечує обслуговування потоків пакетів IP.

Для підтримки деяких видів інфокомунікаційних послуг може знадобитися взаємодія із програмним комутатором (Softswitch). Ці функції можуть бути реалізовані при застосуванні протоколу MGCP (Media Gateway Control Protocol), який призначений для управління медіашлюзом. Він розроблений для архітектури, у якій уся логіка обробки викликів розташовується поза шлюзами й управління виконується зовнішніми

пристроями, такими, як контролери медіашлюзів (Media Gateway Control, MGC) або агентами викликів. Модель викликів MGCP розглядає медіашлюзи як набір кінцевих крапок, які можна з'єднати одна з одною.

Технологія фізичного рівня Fast Ethernet 100Base-T зі швидкістю 100 Мбіт/с використовується в локальних мережах ЕОМ. Термін Base указує на пряму (немодульовану) передачу. Ознака Т указує на використання крученому пари (Twisted pair).

До складу основних засобів входить устаткування, що дозволяє будувати мультисервісні мережі доступу (рис. 3.2): мультисервісний комутатор доступу. Мультисервісний комутатор доступу є вузлом мультисервісної мережі, що вирішує завдання обробки інформації сигналізації, управління викликами й з'єднаннями.

Мультисервісний комутатор доступу є ядром мультисервісної мережі доступу й виконує наступні функції:

- управління встаткуванням доступу – мультисервісними абонентськими концентраторами;
- маршрутизація викликів по номеру абонента ТМЗК, номеру напрямку, IP-адресі;
- надання ДВО.

Основна ідея, реалізована апаратно-програмними засобами Softswitch, полягає в тому, що між логічними рівнями (у моделі NGN) необхідно застосовувати тільки *відкриті протоколи*, які дозволяють легко адаптувати виконувані функції при формуванні нових вимог з боку клієнтів, системи тарифікації й інших компонентів інфокомунікаційної системи.

Особливість комутаційних станцій мережі зв'язку загального користування полягає в тому, що вони мають стандартні інтерфейси на вході й виході. Практично всі внутрішні процеси в комутаційній станції, як в «чорному ящику», підтримувалися фірмовими протоколами, розробка яких здійснювалася виробником відповідного встаткування.

У мультисервісній мережі нового покоління (NGN) повинен

використовуватися ряд нових елементів, яких не було в телекомунікаційній системі 20-го століття. Якісно новим видом апаратно-програмних засобів, використовуваних в NGN, є Softswitch.

У цей час усі провідні виробники телекомунікаційного встаткування вже випускають устаткування класу Softswitch або закінчують його розробку. Основні рішення практично всіх постачальників, стосовно до реалізації Softswitch, збігаються.

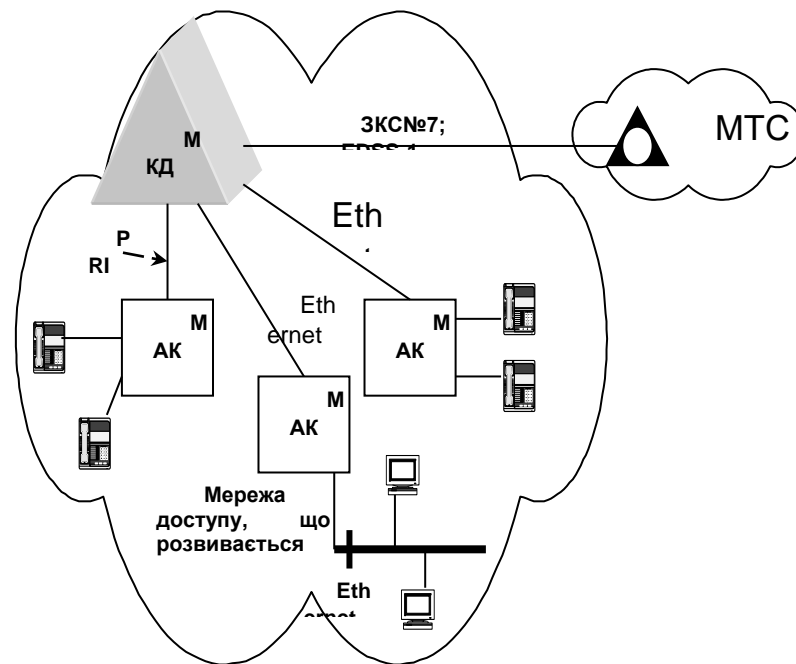


Рис. 3.2. Приклад мультисервісної мережі доступу.

Устаткування створюється тільки на платформах, що характеризуються високим показником готовності. Широко використовується дублювання основних елементів системи. Число обслуговуваних спроб викликів у годину найбільшого навантаження (ГНН) становить кілька мільйонів. Обов'язково підтримується сигналізація по протоколу ЗКС № 7.

На початковому етапі еволюції інфокомунікаційної системи основну роль відіграє устаткування з комутацією каналів. Основні ресурси загальної транспортної мережі використовуються для доставки мовної інформації. Устаткування з комутацією пакетів використовує меншу частку ресурсів загальної транспортної мережі. Для розв'язку завдань комутації, компресії й передачі мовної інформації з мережі з комутацією каналів у мережу з

комутацією пакетів установлюються медіашлюзи.

Частина ресурсів транспортної мережі повинна використовуватися спільно обома мережами (із КК і КП). Це дозволяє уникнути перевантажень у тому випадку, якщо ГНН в обох мережах не збігаються.

На передостанньому етапі еволюції інфокомунікаційної системи основну роль відіграє встаткування з комутацією пакетів, що забезпечує доставку мультимедійної інформації. Основні ресурси загальної транспортної мережі використовуються для транспортування мультимедійної інформації в режимі комутації пакетів. Устаткування з комутацією каналів тепер використовує меншу частку ресурсів загальної транспортної мережі.

Пропускна здатність транспортної мережі повинна бути більшою, що пояснюється наявністю в мультимедійному трафіку відео інформації. Частина ресурсів транспортної мережі продовжує використовуватися обома мережами спільно.

Серед проблем, з якими зустрічаються практично всі оператори телекомунікаційних мереж, слід підкреслити складність вибору сценарію для подальшого розвитку мережі доступу. Таке положення обумовлене безліччю факторів, але домінантою можна вважати складність прогнозування попиту на ринку інфокомунікаційних послуг. Тому для оператора телекомунікаційної мережі великий практичний інтерес представляють такі системно-сітьові рішення, які з мінімальними витратами можуть змінюватися залежно від вимог ринку.

Висновки до розділу

Провівши аналіз усіх факторів і технологій побудови мереж доступу мультисервісних систем, я можу запропонувати певну методику реалізації мереж доступу.

Основні етапи реалізації методики:

1. Визначення вихідних даних.
2. Визначення обмежень та допущень щодо побудови мережі доступу.
3. Оцінка ринку телекомунікаційних послуг.
4. Проведення прогнозу стану економіки на визначений період.
5. Оцінка прибутковості за визначений період.
6. Проектування структури та топології мережі.
7. Оцінка експлуатаційних характеристик мережі доступу.
8. Розрахунок вартості реалізації мережі доступу.
9. Розробка проектної документації для побудови мережі доступу.
10. Виконання сценарію по побудові мережі доступу.

ВИСНОВКИ

Канали DWDM Super Channel є ідеальним рішенням двоїстої проблеми збільшення пропускної здатності оптичного каналу вище 100 Гбіт / с і гнучкого поєднання оптичної продуктивності і дальності передачі для мультисервісних мереж.

Впроваджуючи Super Channel, який складається з великої кількості оптичних несучих, ми можемо знизити потребу в електронних компонентах, що дозволяє запускати нову технологію негайно.

Ключем до багатоканальної технології Super Channel є використання великомасштабних PIC, що дозволяє спростити оптичні схеми і запропонувати максимальну гнучкість для технічного проектування.

Застосування OFDM передбачено з урахуванням символного відношення B / фіксованим і рівним 1. Таке рішення знижує взаємні впливи між підканалах, але вимагає єдине джерело для піднесних.

Кожне з рішень по суперканалам з OFDM може мати свої спектральні характеристики, обумовлені форматом модуляції. Крім того, поєднання OFDM і гнучкого формування суперканалів в діапазоні 200 Гбіт / с - 1,5 Тбіт / с, як показано в ряді публікацій, передбачає розвиток технології «гнучкої сітки» або Flex grid (FG) OFDM.

Завдяки цій техніці стає можливим гнучке формування спектра будь-якого каналу, в тому числі суперканала в певному діапазоні оптичних частот і масштабування ємності оптичної мережі.

При написанні магістерської дисертації були виконані наступні завдання:

1. Виконано огляд літератури по темі дослідження;
2. Вивчено особливості побудови суперканалів зв'язку;
3. Виконано дослідження DWDM з оптичними суперканалами на основі технології flex grid.

Крім цього, в роботі також представлені графіки, які показують безперечну перевагу використання технології flex grid з точки зору ефективності.

Також в результаті виконання магістерської дисертації було запропоновано методику побудови мереж доступу мультисервісних мереж.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Фокин В.Г. Когерентные оптические сети : Учебное пособие / Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики; каф. многоканальной электросвязи и оптических систем. Новосибирск, 2015. 372 с.
2. Фокин В.Г. Когерентные оптические сети: учебное пособие. Новосибирск, ФГОБУ ВПО СибГУТИ, 2015. -371с.
3. В.Г. Фокин, Ибрагимов Р.З. Оптические системы с терабитными и петабитными скоростями передачи: Учебное пособие/ Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информации; каф. многоканальной электросвязи и оптических систем. Новосибирск, 2015г. -161 с.: ил.
4. Шереметьев А.Г. Когерентная волоконно-оптическая связь : монография. М.: Радио и связь, 1991. 192 с.
5. Stern Th.E., Ellinas G., Bala K. Multiwavelength Optical Networks, Architectures, Design, and Control. Cambridge University Press, 2009. 1006 p.
6. Paul Wright, Andrew Lord, Savvas Nicholas, “Comparison of Optical Spectrum Utilization Between Flexgrid and Fixed Grid on a Real Network Topology” in Proceedings of OFC/NFOEC 2012, OTh3B.5
7. Agrawal G.P. Fiber-Optic Communications Systems. Third Edition. John Wiley & Sons, Inc, 2002. 561 p.
8. Recommendation ITU-T G.663 (04/2011) Application-related aspects of optical amplifier devices and subsystems.
9. Морелос-Сарагоса Р. Искусство помехоустойчивого кодирования. М.: Техносфера, 2005. 320 с.
10. Давыдкин П.Н., Колтунов М.Н., Рыжков А.В. Тактовая сетевая синхронизация. М.: Эко-Трендз, 2004.205 с.

11. Steve Frisken, Glenn Baxter, Dmitri Abakoumov, Hao Zhou, Ian Clarke, Simon Poole, “Flexible and Grid-less Wavelength Selective Switch using LCOS Technology” in Proceedings of OFC/NFOEC 2011, OTuM3.
12. John Zyskind, Atul Srivastava, “Challenges and Opportunities in Future High-Capacity Optical Transmission Systems”, in *Optically Amplified WDM Networks*, 1st ed. Burlington:Elsevier, 2011, pp 59.
13. O. Gerstel, M. Jinho, A. Lord, S. Ben Yoo, “Elastic Optical Networking: A New Dawn for the Optical Layer?” *IEEE Commun Mag.*, vol. 50, pp. s12-s20, 2012
14. E. Desurvire, «Capacity Demand and Technology Challenges for Lightwave Systems in the Next Two Decades». *Journal of Lightwave Technology*, Vol. 24, No. 12, December 2006.
15. I. Hussain et al. «Generalized Label for Super Channel Assignment on Flexible Grid». IETF Internet Draft. <http://tools.ietf.org/html/draft-hussainccamp-Super-Channel-label-02>.
16. Розроблення стартап-проекту : Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с.