

ДЕРЖАВНИЙ КОМІТЕТ ЗВ'ЯЗКУ ТА ІНФОРМАТИЗАЦІЇ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ

К.О.Мешковський *В.Г.Бондаренко*
М.О.Біла А.О.Чупенко І.П. Павелко

Навчальний посібник присвячується пам'яті К.О.Мешковського, доктора технічних наук, професора, завідуючого кафедрою ІПК Московського технічного університету зв'язку та інформатики, який багато років керував розвитком первинної мережі Союзу, як замісник начальника ЦНДІЗ.

Синхронні цифрові мережі СЦІ Технології і структура WDM системи

Під загальною редакцією кандидата технічних наук,
професора Бондаренка В.Г.

КИЇВ 2009

ДЕРЖАВНИЙ КОМІТЕТ ЗВ'ЯЗКУ ТА ІНФОРМАТИЗАЦІЇ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ

К.О.Мешковський *В.Г.Бондаренко*
М.О.Біла А.О.Чупенко І.П. Павелко

Навчальний посібник присвячується пам'яті К.О.Мешковського, доктора технічних наук, професора, завідуючого кафедрою ІПК Московського технічного університету зв'язку та інформатики, який багато років керував розвитком первинної мережі Союзу, як замісник начальника ЦНДІЗ.

Синхронні цифрові мережі СЦІ Технології і структура WDM системи

Під загальною редакцією кандидата технічних наук,
професора Бондаренка В.Г.

УДК 621 305

Посібник складається із трьох частин.

В частині першій викладені принципи побудови СЦІ, приведені основні характеристики СЦІ та відомості з апаратури СЦІ та їх застосуванню на первинній мережі.

В частині другій коротко розглянуті технології WDM.

В третій частині приведені короткі відомості з надійності систем передавання ВОЛЗ.

Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів за напрямком Телекомунікації з дисциплін ЦСП, TOTSM, ТЕСЗ.

**Рецензент Власов О.М. доктор технічних наук
Жураківський Б.Ю. кандидат технічних наук**

Мешковський К.О. Бондаренко В.Г. Біла М.О. Чупенко А.О.

І.П. Павелко

Синхронні цифрові мережі СЦІ. Технології і структура WDM системи. Навчальний посібник з дисципліни ЦСП, TOTSM, ТЕСЗ. К-ДУІКТ 2009 - 130с

КИЇВ 2009

Зміст

Вступ	
Частина I СЦІ, її застосування та впровадження	
1. Перспективи розвитку цифрової первинної мережі на базі синхронної цифрової ієрархії (SDH)	6
2. Основні характеристики синхронної цифрової ієрархії (SDH)	11
2.1.1. Інформаційна мережа в SDH	13
2.1.2. Система обслуговування в мережах SDH	14
2.2. Інформаційні структури і схема перетворень у TC SDH	15
2.2.1. Інформаційні структури в TC SDH	15
2.2.2. Схема перетворень швидкостей у SDH	20
2.3. Лінійні тракти в мережах SDH	22
2.3.2. Оптичні секції	24
2.3.2.1. Класифікація	24
2.3.2.2. Нормування параметрів	25
2.3.3. Регенератори	30
2.3.4. Загальні характеристики ЛТ	34
2.3.5. Контроль і керування ЛТ	35
2.4. Заголовки секцій і трактів, сигнали обслуговування в SDH	36
2.4.1. Секційний заголовок SDH	36
2.4.2. Трактові заголовки	37
2.4.3. Сигнали обслуговування в мережах SDH	40
2.5. Синхронізація	40
3. Архітектура і функціональні модулі мережі SDH	41
3.1. Функціональні модулі мережі SDH	42
3.2. Топологія мереж SDH	46
3.2.1. «Точка-точка»	46
3.2.2. «Лінійний ланцюг»	47
3.2.3. «Зірка»	48
3.2.4. «Кільце»	48
3.3. Архітектура мереж SDH	50
3.3.1. «Радіально-кільцева»	50
3.3.2. «Кільце-кільце»	51
3.3.3. Мережі великої довжини	52
3.3.4. Розгалужені мережі загального вигляду	53
4. Застосування систем SDH	54
4.1 Загальні положення	54
4.2. Апаратура SDH	56
4.3. Застосування SDH на зонових мережах	58
5. Використання засобів зв'язку SDH	60
5.1 Доцільність використання засобів SDH	60
5.2 Оптичні інтерфейси і типи волоконних кабелів	60
5.3. Параметри оптичних стиків	60
5.4. Використовуваний рівень SDH і система резервування	61
5.5. Сумісність з мережею зв'язку України	62
5.6. Типи SDH-апаратури для мережі	62
Частина II Основні поняття WDM	
Розділ 1. Технологія WDM	72
1. Відмінності WDM та TDM	72
1.1. Технологія DWDM та CWDM	74

1.2 Реалізація WDM систем	80
1.3 Характеристики сучасних WDM систем	85
1.4 Огляд системи XDM	
Розділ 2. Структура WDM системи	87
2.1 Транспондер	87
2.2 WDM мультиплексор/демультиплексор	88
2.3 Оптичний передавач	89
2.4 Фотоприймач	90
2.5 Атенюатори	91
2.6 Комутатори	91
2.7 Хвильові розгалужувані	97
2.8 Пристрої компенсації дисперсії	97
2.9 Оптичні підсилювачі	98
2.10 Хвильові конвертери	103
2.11 Оптичне волокно	103
Частина III Надійність систем передавання ВОЛЗ	108
Використана література	130

•

ВСТУП

Раніше у всьому світі використовувались три різні Плезиохронні Цифрові ієрархії (PDH): у Європі, Північній Америці і Японії і ще одна, змішана ієрархія. Але жодна з цих систем не дозволяла ефективно використовувати всі можливості цифрових систем передачі. Для забезпечення стандартизації інтерфейсу мережі користувача і поліпшення якісних показників мережі було прийняте рішення створити нову цифрову ієрархію, що стала б стандартною для всіх країн в усьому світі.

Синхронна Цифрова ієрархія (SDH) призначена для мультиплексування і передачі (головним чином по волоконно-оптичним кабелям) цифрових сигналів зі швидкістю до 10 Гбіт/с (9,95328 Гбіт/с)

Мережі СЦІ дозволяють вирішити такі важливі проблеми як:

- швидке встановлення з'єднань;
- безперервний контроль і управління проходженням цифрових сигналів від початку до кінця та аналіз якості каналів;
- висока ефективність завантаження;
- оптимальна маршрутизація з гнучким об'єднанням цифрових сигналів;
- реконфігурація мереж у випадку аварії.

SDH визначає параметри інтерфейсу, що використовуються для ефективного мультиплексування різних видів високошвидкісних сервісних каналів, а також існуючих низькошвидкісних служб.

Характерні риси SDH:

1) Уніфікований синхронний інтерфейс дозволяє знайти трибутарні (вихідні) потоки в мультиплексному високошвидкісному сигналі. SDH мережа може однаково обробляти сигнали, засновані як на системі 1.5 Мбіт/с, так і для системи 2 Мбіт/с. Цей уніфікований інтерфейс реалізує будь-яке оточення операторів (дозволяє на будь-якому проміжному пункті легко вводити/виводити цифрові потоки для споживачів).

2) Гнучке мультиплексування різної інформації дозволяє легко поєднувати різні види інформації, від існуючих телефонних послуг до майбутніх високошвидкісних послуг. Отже, інфраструктура, необхідна для реалізації майбутніх послуг B-ISDN, може створюватися в рамках SDH.

3) Надлишкова пропускна здатність (ємність) заголовку дозволяє забезпечити велику продуктивність передачі інформації контролю, управління і технічного обслуговування мережі, що дозволяє реалізувати високі функціональні можливості та високу надійність мережі.

Наявність заголовків дозволяє виконати три основні функції:

- структурування (формування кадру) і синхронізацію;
- контроль функціонування;
- використання каналів користувача і керування мережею.

Використання заголовка для структурування і синхронізації сигналу дозволяє прямо визначити наявність будь-якого складового сигналу в складеній структурі кадру. Дана обставина спрощує структуру мережі передачі даних, збільшуючи одночасно її гнучкість.

Перша частина посібника присвячена викладанню застосуванню СЦІ на ВОЛС. Зараз великий прогрес розвитку мереж зв'язку пов'язаний з застосуванням спектрального ущільнення ВОЛС. Одночасна передача по волоконному світловоду багатьох незалежних інформаційних каналів на різних оптичних несучих дозволяє використати всю оптичну смугу пропускання світловоду. Ця технологія одержала назву WDM.

Друга частина навчального посібника присвячена технології WDM і структурам WDM.

В третій частині приведені короткі відомості з надійності систем передавання ВОЛС.

Навчальний посібник присвячується пам'яті К.О.Мешковського, доктора технічних наук, професора, завідуючого кафедрою ІПК Московського технічного університету зв'язку та інформатики, який багато років керував розвитком первинної мережі СРСР, як замісник начальника ЦНДІЗ.

ЧАСТИНА I

1. ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ЦИФРОВОЇ ПЕРВИННОЇ МЕРЕЖІ НА БАЗІ СИНХРОННОЇ ЦИФРОВОЇ ІЄРАРХІЇ (SDH)

Наприкінці 70-х років адміністрації зв'язку розвинутих країн на основі накопиченого досвіду впровадження цифрових систем передачі і комутації усвідомили можливість створення цілком цифрових мереж зв'язку на територіях своїх країн. До цього часу була довершена

розробка всіх трьох різновидів цифрових ієрархій, що одержали згодом назву плезиохронних. Було також усвідомлено, що на основі цих ієрархій неможливо побудувати всевітню цифрову мережу. Досвід, отриманий на початку цього процесу, з урахуванням досягнень технології в галузі засобів зв'язку і зростання різноманітності нових потреб у послугах зв'язку дозволив виявити, що існуючі різні цифрові ієрархії перестали цілком задовольняти інтересам адміністрацій і користувачів зв'язку. До числа факторів, які привели до такого висновку, відносяться:

заявлене погіршення якості при асинхронному з'єднанні цифрових сигналів за методом цифрового вирівнювання (наприклад, із-за фазових тремтінь і часу входження в цикловий синхронізм) і необхідної при цьому значної кількості апаратури часового групоутворення для доступу до відносно невеликої частини групового цифрового сигналу;

відсутність у цифрових групових сигналах плезиохронної ієрархії можливості формувати і передавати достатній обсяг інформації для системи технічної експлуатації;

не узгодження швидкостей і числа каналів у різних плезиохронних системах ієрархії; для України додався ще один недолік у вигляді двостороннього стаффіngu замість одностороннього, прийнятого за кордоном;

необхідність багатоступеневого відновлення синхронізації компонентних потоків при зриві синхронізації потоку вищої ступені ієрархії;

поява волоконно-оптичних систем передачі з їх поки ще необмеженою для адміністрацій зв'язку пропускною здатністю при значних довжинах регенераційних ділянок (більш 200 км);

поява великого інтересу в користувачів до аудіовізуальних передач рухливих зображень високої якості; поява технології пакетної передачі таких зображень з можливістю комутації й обробки таких сигналів в обчислювальних машинах і мережах.

На підставі викладеного в середині 80-х рр. почалася розробка ідеології нової, синхронної цифрової ієрархії, що враховує вищенаведене. У результаті цих робіт з'явилися наступні рекомендації МСЕ-Т:

- G.707 Швидкості передачі в синхронній цифровій ієрархії
- G.708 Стик мережного вузла для синхронної цифрової ієрархії
- G.709 Структура синхронного групоутворення
- G.774 Експлуатація мережі синхронної цифрової ієрархії інформаційна модель
- G.781 Структура рекомендацій з апаратури синхронної цифрової ієрархії
- G.781 Типи і загальні характеристики апаратури синхронної цифрової ієрархії
- G.783 Характеристики функціональних блоків апаратури синхронної цифрової ієрархії
- G.754 Технічна експлуатація мережі синхронної цифрової ієрархії
- G.957 Оптичні стики для апаратури і систем, що мають відношення до синхронної цифрової ієрархії
- G.958 Цифрові волоконно-оптичні тракти синхронної цифрової ієрархії

Деякі з цих рекомендацій ще додатково уточнюються, але, крім того, існує безліч і інших рекомендацій МСЕ-Т і МСЕ-Р, у яких стандартизуються ті чи інші параметри системи й апаратури синхронної цифрової ієрархії.

Системи й апаратура синхронної цифрової ієрархії призначаються для транспортування (виконання функцій первинної мережі):

сигналів цифрових систем передачі плезиохронної цифрової ієрархії європейського і північноамериканського варіантів,

сигналів широкосмугової цифрової мережі з інтеграцією служб в асинхронному режимі передачі.

Рекомендацією МСЕ-Т G.707 як перший рівень синхронної цифрової ієрархії передбачається цифровий тракт із пропускною здатністю 155520 Кбіт/с. Усі тракти більш високих рівнів утворюються з цього тракту шляхом синхронного часового групоутворення, причому пропускні здібності трактів більш високих рівнів утворюються шляхом множення пропускної здатності першого рівня на ціле число, що відповідає номеру більш високого рівня. Так, наприклад, пропускна здатність цифрового тракту 4-го рівня, регламентованого МСЕ-Т, дорівнює $4 \times 155520 = 622080$ Кбіт/с, а тракту 16-го рівня - $16 \times 155520 = 2488320$ Кбіт/с. У синхронній цифровій ієрархії групоутворення здійснюється об'єднанням байтів у той час, як у плезиохронній ієрархії об'єднанням біт.

Зіставлення пропускної здатності тракту першого рівня синхронної ієрархії і швидкостей передачі сигналів у трактах плезиохронної ієрархії показує, що перша перевершує кожен з швидкостей групових сигналів плезиохронної ієрархії, крім останнього рівня. Це означає, що тракти синхронної ієрархії можуть бути пристосовані для передачі більшості групових сигналів плезиохронної ієрархії.

Для пояснення процедури такої передачі розглянемо структуру цифрового групового сигналу першого рівня синхронної цифрової ієрархії, що зветься синхронний транспортний модуль першого рівня. Цей сигнал утворює цикл із періодом повторення 125 мкс (8 кГц), що складає з 270 стовпців і 9 рядків, причому кожне перетинання стовпця і рядка містить один байт (октет). Відповідно до цього можна визначити швидкість передачі синхронного транспортного модуля першого рівня як добуток 8 (кГц) \times 8(символів) \times 270(стовпців) \times 9(рядків) = 155520 Кбіт/с. З цих 270 стовпців 9 призначається для службових цілей, а інші 261 - для інформаційного сигналу. У 9 службових стовпцях розміщуються службові сигнали, що носять назву заголовків. Серед заголовків розрізняють мультиплексний і регенераційний. У регенераційному заголовку укладені символи циклової синхронізації, покажчики рівня синхронного модулю, інформації контролю помилок у регенераторах, символи для службового телефонного зв'язку і передачі даних. Регенераційний заголовок функціонує в межах цифрової секції. У мультиплексному заголовку, що функціонує на ділянці між пунктами формування синхронного транспортного модуля, містяться символи контролю помилок між цими пунктами, символи керування автоматичними переключеннями, службового телефонного зв'язку і передачі даних.

261 стовпець використовується для інформаційного навантаження. Якщо в синхронний транспортний модуль вводяться сигнали плезиохронної цифрової ієрархії, то попередньо вони піддаються обробці. Для введення, наприклад, четверинного цифрового сигналу зі швидкістю 140 Мбіт/с використовується контейнер, що містить інформаційні і баластові символи, а на його основі утвориться віртуальний контейнер 4-го рівня, у який додатково вводяться символи трактового заголовку для здійснення контролю якості тракту між пунктами введення і висновку четверинного сигналу в синхронний транспортний модуль, передачі аварійної й іншої службової інформації. При розміщенні віртуального контейнера в синхронному транспортному модулі можуть бути два режими: синхронного введення і плезиохронного введення. При синхронному введенні фаза розміщення віртуального контейнера в модулі фіксована, а при плезиохронному вона може переміщатися. Для запобігання просковзень, що можуть виникнути в останньому випадку, утворюється адміністративний блок, де до віртуального контейнера додається покажчик (пойнтер) адміністративного блоку, що вказує на точку початку запису інформації в контейнері. У процесі роботи точка початку інформації в контейнері може переміщатися через відмінність тактових частот, а при цьому змінюється відповідним чином і інформація у вказівнику. За рахунок використання баласних символів і вказівника, при введенні плезиохронного цифрового сигналу в синхронний транспортний модуль може бути здійснене цифрове вирівнювання, причому в рекомендації G.709 передбачається двосторонній специфічний варіант цього вирівнювання.

Приблизно так само здійснюється введення сигналів 45.34, 6, 2 і 1,5 Мбіт/с з утворенням власних віртуальних контейнерів і використанням вказівників у випадку плезиохронних сигналів. На відміну від четвертинного сигналу тут можуть бути утворені групи з декількох однотипних сигналів. Оброблені в такий спосіб сигнали розставляються в рядах і стовпцях інформаційної частини циклу синхронного транспортного модуля першого рівня.

У рекомендації МСЕ-Т G.782 регламентовано 4 основних типи апаратури групоутворення для синхронної цифрової ієрархії.

I тип відповідає утворенню синхронного транспортного модуля N-ого рівня із сигналів плезиохронної ієрархії, II тип відповідає утворенню синхронного транспортного модуля M-ого рівня з декількох синхронних транспортних модулів N-ого рівня. III тип відповідає апаратурі виділення сигналів плезиохронної цифрової ієрархії із транзитного синхронного транспортного модуля N-ого рівня. IV тип відповідає перекомпонуванню адміністративного блоку третього рівня плезиохронної ієрархії в межах синхронного транспортного модуля N-ого рівня.

На додаток до цього на останнім засіданні Дослідницької комісії XV МСЕ-Т прийняте рішення допрацювати рекомендації G.781-G.784, включивши до них функції оперативного переключення для віртуальних контейнерів і синхронних транспортних модулів.

Детальний аналіз структури системи і пристроїв синхронної цифрової ієрархії показує, що в цьому випадку на цифровій первинній мережі можуть бути отримані важливі нові властивості, а саме:

- введення і виділення із синхронних транспортних модулів сигналів плезиохронної цифрової ієрархії без розбирання цих модулів, що істотно зменшує необхідний обсяг апаратури групоутворення, а також зменшує відповідні перекручування;

- реалізація оперативного переключення усередині апаратури групоутворення однотипна для всіх різновидів цифрових групових трактів плезиохронної і синхронної ієрархій;

- автоматичне одержання повної інформації про якість роботи регенераторів, апаратури оперативного переключення і групоутворення, а також трактів;

- практично необмеженого обміну різного роду з службовою інформацією системи технічної експлуатації; підвищення живучості цифрової первинної мережі, обумовленої можливостями оперативного переключення, уніфікованим з'єднанням апаратури з системою технічної експлуатації і перспективами застосування кільцевих структур синхронної ієрархії;

- можливості використання тих самих трактів для передачі групових сигналів різних плезиохронних ієрархій;

- можливість очікуваного узгодження синхронної ієрархії із сигналами широкопasmової цифрової мережі з інтеграцією служб.

2. ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИНХРОННОЇ ЦИФРОВОЇ ІЄРАРХІЇ (SDH)

Незважаючи на очевидні переваги мереж SDH перед мережами PDH, вони не одержали б широкого поширення, якби не забезпечували наступність і підтримку стандартів PDH.

Природно, що при побудові будь-якої ієрархії повинен бути визначений або ряд стандарту швидкостей цієї ієрархії, або правило його формування і перший (утворюючий) член ряду. У таблиці 1 приведені основні лінійні швидкості SDH і їхні відомі значення. STM означає синхронний транспортний модуль; він же є циклом SDH. Цифра після STM показує, скільки сигналів 140 Мбіт/с міститься в циклі.

SDH дозволяє створити на мережі зв'язку універсальну транспортну систему (ТС), органічно об'єднуючу мережні ресурси, що виконують функції передачі інформації, контролю і керування (оперативного переключення, резервування та ін.). ТС є базою для всіх існуючих і планованих служб, інтелектуальних, персональних і інших мереж.

Таблиця 1

Рівень синхронної ієрархії	Позначення рівня сигналу	Швидкість Мбіт/с	Кількість потоків 2 Мбіт/с	Тип коду
1	STM-1	155,52	63	NRZ, Скрембльований
4	STM-4	622,08	252	NRZ, Скрембльований
16	STM-16	2488,32	1008	NRZ, Скрембльований
64	STM-64	9953,28	4032	NRZ, Скрембльований

2.1. Транспортна система мереж SDH

Інформаційним навантаженням ТС SDH можуть бути сигнали кожної з існуючих PDH, потоки осередків АТМ чи інші цифрові сигнали.

Універсальні можливості транспортування різних сигналів досягаються в SDH завдяки використанню принципу контейнерних перевезень. У ТС SDH переміщуються не самі сигнали навантаження, а нові цифрові структури - віртуальні контейнери, у яких розміщуються сигнали навантаження. Мережні операції з контейнерами виконуються незалежно від їхнього змісту. Після доставки на місце і вивантаження з контейнерів сигнали навантаження знаходять вихідну форму. Тому ТС SDH є прозорою для будь-яких сигналів і може негайно використовуватися для розвитку діючих мереж.

ТС SDH містить інформаційну мережу, систему контролю і керування.

2.1.1. Інформаційна мережа в SDH

Архітектура інформаційної мережі встановлена в Рек. G. 803. Інформаційна мережа SDH побудована по функціональним прошаркам, зв'язаним відносинами клієнт/послуга. Клієнтом для верхнього прошарку мережі є споживач. Сам верхній прошарок, у свою чергу, виступає в ролі клієнта для наступного і т.д. Усі прошарки виконують визначені функції і мають стандартизовані інтерфейси до точок доступу. Кожен прошарок оснащений власними засобами контролю і керування, що мінімізує операції при аваріях і вплив на інші прошарки.

Функції кожного прошарку не залежать від способу фізичної реалізації нижнього обслуговуючого. Кожен прошарок може створюватися і розвиватися незалежно. Зазначена пошарова побудова полегшує створення й експлуатацію мережі і дозволяє досягти найбільш високих техніко-економічних показників.

Мережа SDH містить три топологічні незалежні прошарки (рис.1): каналів, трактів і середовища передачі, що розподіляються на більш спеціалізовані.

Мережі прошаркових каналів з'єднують різні комплекти кінцевої апаратури SDH і термінали споживачів. Прошарок каналів підтримує такі служби, як служба оренди каналів, служби пакетної комутації, комутації каналів і ін.

Нижче лежить прошарок трактів. Він поділяється на два прошарки: трактів нижчого і вищого рангу. Мережі трактів цілком незалежні від фізичного середовища і можуть мати власну топологію. У прошарку трактів здійснюється програмний і дистанційний контроль і керування з'єднаннями. Усі тракти закінчуються в апаратурі оперативного переключення (АОП), що входить до мультиплексорів SDH (або автономної), за допомогою якої тракти резервуються, вводяться і відгалужуються. При цьому можливо створення й обслуговування кільцевих, розгалужених і інших ефективних мережних конфігурацій. Прошарок середовища передачі розподіляється на два: прошарок секцій (верхній) і прошарок фізичного середовища. Секції виконують усі функції, що забезпечують передачу інформації між двома вузлами прошарків трактів. Як фізичне середовище використовуються волоконно-оптичне (ОВ) чи радіохвилі.

У секції SDH є два прошарки: мультиплексних секцій (MS) і регенераційних секцій (RS). Мультиплексна секція забезпечує від початку до кінця передачу інформації між пунктами, де закінчуються або переключаються тракти, а RS - передачу інформації між регенераторами чи між регенераторами і кінцевими пунктами. У прошарку секцій також можливе резервування (наприклад, по системі 1: n).

Регенераційні секції цілком залежать від середовища передачі. Мультиплексні секції можуть залежати від середовища передачі (радіо) і мати обмеження топології (наприклад, крапка - крапка).

Мережа SDH у кожному своєму прошарку може бути розділена на підмережі (національні, регіональні, місцеві й ін.). Розподіл на підмережі дозволяє спростити процеси експлуатації мережі, увести більш економічне нормування і т.д.

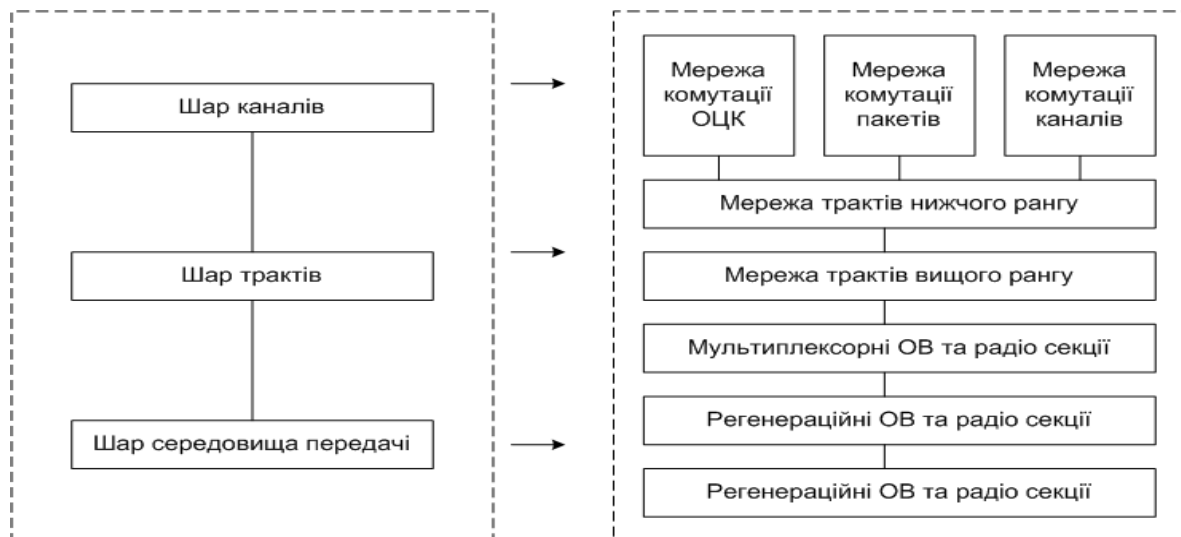


Рис. 1. Пошарова структура мережі SDH

2.1.2. Система обслуговування в мережах SDH

Створення мережних конфігурацій, контроль і управління окремими станціями і всією інформаційною мережею здійснюються програмно і дистанційно за допомогою системи обслуговування SDH. Ця система є підсистемою загальномережною системи обслуговування TMN (Telecommunication Management Network), використовує загальні принципи останньої, котрі викладені в Рек. М. 20 і М. 3010, а для SDH конкретизовані в Рек. G. 774 і G. 784. Система вирішує завдання обслуговування сучасних мереж зв'язку: оптимізує експлуатацію апаратури різних фірм у зоні одного оператора і забезпечує взаємодію зон різних операторів.

Система обслуговування поділяється на підсистеми, що обслуговують окремі ділянки інформаційної мережі SDH. Доступ до кожної SDH-підсистеми здійснюється через головний у цій підсистемі (шлюзовий) вузол станції SDH.

Фізичною основою системи є контрольно-керуючі мікропроцесори, що входять в апаратуру, інтерфейси обслуговування, вбудовані в цикли службові канали і програмне забезпечення. Протоколи зв'язку вбудованих службових каналах встановлені в Рек G.764, а для Q - інтерфейсів - у Рек G. 773 , Q. 811 і Q. 812. Система обслуговування SDH дозволяє виконувати всі операції обслуговування мережі і кожного вузла (станції) SDH, які з центру, так і з інших пунктів, яким таке право надане.

2.2. Інформаційні структури і схема перетворень у TC SDH

Принципи TC SDH реалізуються за допомогою інформаційних цифрових структур, утворених на апаратному рівні в мережних прошарках секцій і трактів.

2.2.1. Інформаційні структури в TC SDH

У прошарку секцій використовуються самі великі структури SDH-синхронні транспортні модулі STM-N, що представляють собою формати лінійних сигналів. Вони ж використовуються на інтерфейсах мережних вузлів і регламентовані в Рек. G. 708. Число N означає рівень SDH.

Наразі SDH містить три синхронні рівні, швидкості передачі яких (155520 - 622080 - 2488320 Кбіт/с) зв'язані відношенням 1:4:16. Числа 1, 4 і 16 відповідають номерам N рівнів SDH. Сигнали вищих рівнів одержують шляхом побайтного об'єднання N сигналів першого рівня. Планується введення рівня N=64 зі швидкістю передачі 64 x 155520 Кбіт/с.

На рис.2 показаний цикл STM-1. Він має період повторення 125 мкс, тобто кожен байт може представляти мовний відлік у реальному масштабі часу.

Перші 9 стовпців циклу STM-1 займають службові сигнали: секційний заголовок (SOH) і вказівник позиції першого байта циклу навантаження (чи AU-вказівник). Інші 261 стовпець - навантаження.

SOH - несе сигнали системи обслуговування SDH у мережних прошарках секцій і поділяється на заголовки регенераційної і мультиплексної секцій (RSOH і MSOH).

RSOH діє в межах регенераційної секції, а MSOH проходить прозором регенератори і діє в межах усієї мультиплексної секції.

Для організації з'єднань у мережних прошарках трактів використовуються віртуальні контейнери VC-n, визначені в Рек. 0.708, 0.709.

Віртуальний контейнер - це блочна циклічна структура двійкових символів з періодом повторення 125 чи 500 мкс (в залежності від виду тракту). Кожен VC-n складається з поля навантаження (контейнер 3-n) і трактового заголовку (POH), що несе сигнали обслуговування даного VC-n = C-n + POH. Заголовок створюється і ліквідується в пунктах, у яких формується і розформовується VC-n, проходячи транзитом секції. Інформація, що визначає початок циклу VC-n, забезпечується обслуговуючим мережним прошарком.

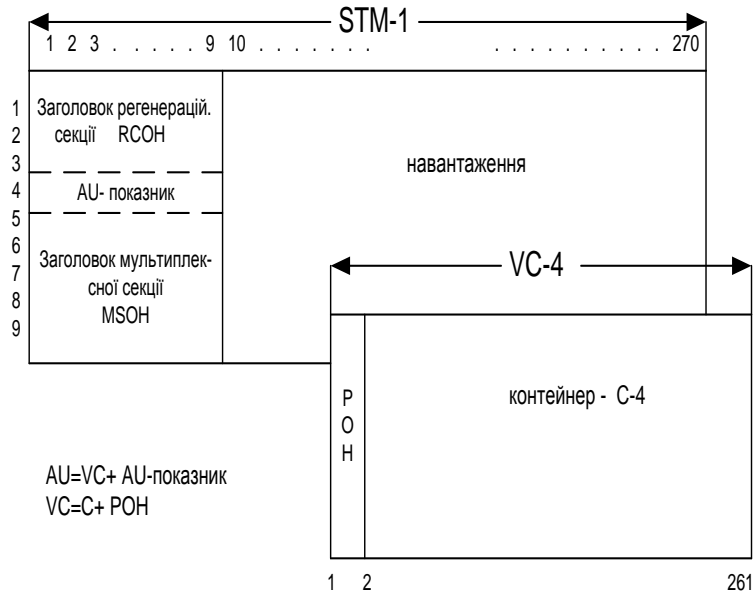


Рис. 2. Цикли STM-1 і VC-4

Таблиця 2

VC-n	VC-11	VC-12	VC-2	VC-3	VC-4
Обсяг Мбит/с	1,6	2,176	6,78	48,384	149,76
Сигнали PDH Мбит/с	1,5	1,5 і 2	6	34 і 45	140

Перелік VC-n приведений у табл. 2. VC-11, VC-12 і VC-2 відноситься до нижнього рангу, а VC-3 і VC-4 - до верхнього. В другому рядку таблиці показаний їх корисний «обсяг», тобто гранична швидкість навантаження, а в нижньому рядку - швидкості передачі сигналів PDH (округлено), розміщення яких стандартизовано в цих контейнерах.

Цикл найбільшого віртуального контейнера VC-4 показаний на рис.2. Він містить 9 рядків і 261 стовпець. Перший стовпець займає POH, а інші 260 елементів - контейнер C-4 (корисне навантаження $260 \times 9 \times 8 \times 8 \text{кГц} = 149760 \text{ Кбіт/с}$).

Аналогічно побудований віртуальний контейнер VC-3, що відрізняється лише кількістю стовпців - 85. Контейнер VC-3 має 84 стовпці і видає корисне навантаження $84 \times 9 \times 8 \times 8 \text{кГц} = 48384 \text{ Кбіт/с}$.

Віртуальні контейнери нижнього рангу використовують зверхцикл 500 мкс. На рис.3 показаний VC-12. Байти V5, J2, Z6 і Z7 утворять заголовок тракту, а чотири групи по 34 байти навантаження - контейнер C-12 з корисною ємністю 2176 Кбіт/с. VC-11 і VC-2 мають ту ж структуру, але містять відповідно по 25 і 10 байтів у кожній із груп навантаження.

Синхронні транспортні модулі переносять віртуальні контейнери верхнього рангу й обмінюються ними у вузлах мережі. Аналогічно самі VC-3, 4 обмінюються контейнерами нижнього рангу. Ці процеси повинні забезпечуватися компенсацією можливих на шляху коливань фази і частоти VC-n щодо циклу обслуговуючої структури. Згадана компенсація доповнюється вказівкою початку циклу контейнера в циклі обслуговуючого мережного про шарку. Обидві операції виконуються механізмом вказівників (пойнтерів), обговореним у Рек. G . 709.

Додаванням вказівників до віртуальних контейнерів верхнього рангу утворюються адміністративні блоки (AU) $AU = VC-n + AU\text{-вказівник}$. VC-4 утворить блок AU-4, що цілком завантажує STM-1. VC-3 утворить AU-3. У STM-1 замість VC-4 можна ввести три AU-3, що

мають власні вказівники й утворюють групу AUG. Усі AU - вказівники займають фіксоване положення в 4 - і рядку перших 9 стовпців циклу STM-1. VC-3 можуть і не використовуватися самостійно на інтерфейсах мережних вузлів, але входять до складу VC-4.

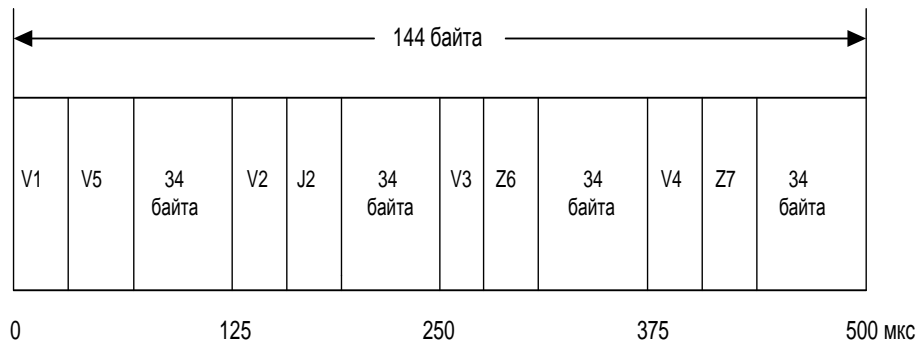


Рис. 3 Зверхцикл TU-12

Для узгодження різних прошарків трактів у SDH використовуються субблоки TU. Субблок утвориться додаванням вказівника до віртуальних контейнерів VC - n (n = 1, 2, 3) : TU - n = VC - n + TU -вказівник. Один чи більш субблоків, що займають визначені фіксовані місця в навантаженні вищестоящого VC - n, називаються групою субблоків TUG TUG-3 може містити один субблок TU-3 чи однорідний набір із семи TUG-2 , а кожна TUG-2 - один TU - 2 чи однорідний набір ідентичних TU-12 (три) чи TU-11 (чотири). Субблоки побайтно мультимплексируються в циклі групи.

На рис.4 показано TUG-3 (у даному випадку він збігається з TU - 3). Період повторення цієї структури 125 мкс.

На рис.5 показаний зверхцикл TU-12. Він представлений у вигляді таблиці з 9 рядків і 16 стовпців (144 байта) і складається з чотирьох циклів по 125 мкс. У порівнянні з VC-12 (рис.3) даний зверхцикл містить 4 нових байти: V1, V2, V3, що складають TU-вказівника і V4 (резерв). Положення байтів TU-вказівника у зверхциклі визначається байтом H4 заголовку тракту вищого рангу показаному на рис.4.

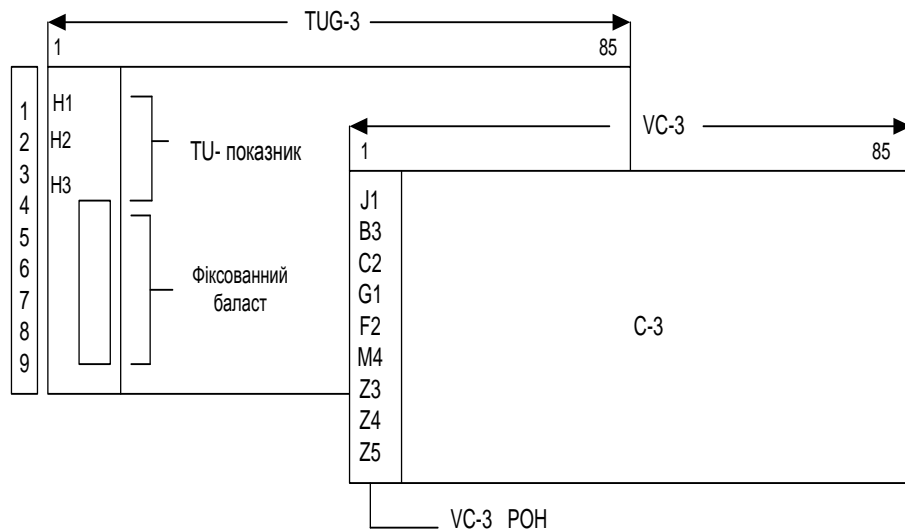


Рис. 4. Цикли C-3, VC-3, TUG-3

Аналогічно побудовані зверхцикли TU-1 і TU-2, що відрізняються від TU-12 числом стовпців у циклах 125 мкс: відповідно 3 і 12.

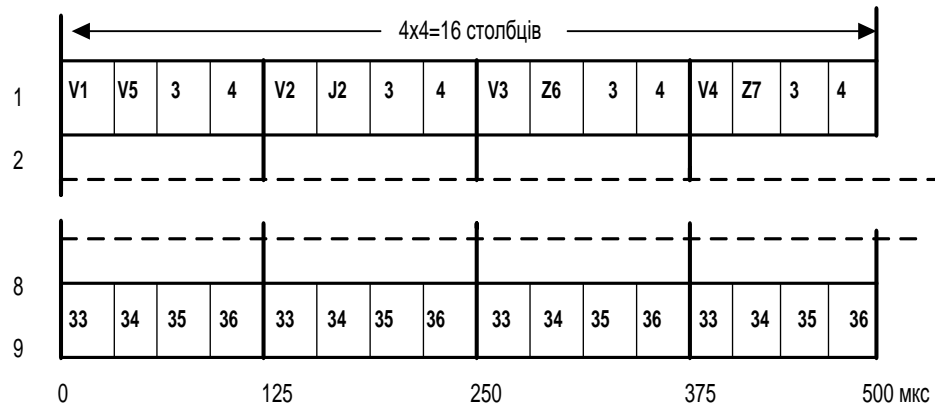


Рис. 5. Зверхцикл TU-12

2.2.2. Схема перетворень швидкостей у SDH

Схема перетворень SDH по Рек. 5. 709 дана на рис.6. Як корисне навантаження показані сигнали PDH, хоча замість них можуть використовуватися осередки АТМ та ін. сигнали. Різні процеси перетворення позначені трьома видами ліній. Ці процеси можна проілюструвати на прикладі перетворення сигналу 139264 Кбіт/с (округлено 140 Мбіт/с).

Розміщення навантаження в контейнерах показано тонкими лініями. Сигнал 140 Мбіт/с розміщується в С-4 асинхронно. Для припасування швидкості сигналу до швидкості контейнера використовуються баластові мережі і цифрове вирівнювання згідно Рек. G. 709. Після додавання трактового заголовка РОН утвориться віртуальний контейнер VC-4.

Рек. G. 709 вказує способи асинхронного розміщення всіх зазначених на схемі сигналів PDH. Крім того, сигнали 1,5, 2 і 6 Мбіт/с можуть бути розміщені в контейнерах синхронно, а сигнали 1,5 і 2 Мбіт/с з октетною структурою - і байт синхронно (останнє забезпечує прямий доступ до каналів 64 Кбіт/с). Асинхронне навантаження може розміщуватися тільки при використанні режиму, що плаває, мультиплексування субблоків у контейнери верхнього рангу, за допомогою TU-вказівників. Для синхронного навантаження передбачений і фіксований режим. У цьому випадку TU-вказівники виключаються, місця субблоків фіксовані і визначаються AU-вказівниками.

Для сигналів, що не вміщуються в один контейнер, є можливість використання зчіпок (concatenations) контейнерів. У Рек. G. 709 стандартизовані зчіпки VC-4n з n контейнерів VC-4 для транспортування високошвидкісних сигналів.

Розглядаються зчіпки VC-2n (TU-2m), що складаються з m контейнерів VC-2, які створюють серію транспортних зчіпок 6,784 Кбіт/с між VC-2 і VC-3. Можливі три варіанти транспортних зчіпок: зчіпки сусідніх TU-2 у навантаженні VC-3, послідовні зчіпки TU-2 і TU-3 у навантаженні VC-4 і віртуальні зчіпки TU-2 у навантаженні VC-4. Стандартизація цих зчіпок передбачається надалі.

Комірки АТМ розміщуються в контейнерах і їхніх зчіпках так, щоб байти комірок збігалися з байтами контейнерів. Оскільки число байтів комірок не завжди кратне числу байтів контейнера, комірки можуть виходити за межі контейнерів. Попередньо потік комірок скремблюється. Стандартизовано розміщення комірок у контейнерах VC-4 і їхніх зчіпках. Розглядається спеціальне використання для цієї мети контейнерів VC-2 і їхніх зчіпок.

Завантаження VC-4 у STM-1 у загальному вигляді вимагає коректування ще і швидкостей передачі, тому що STM-1 жорстко синхронізується з циклом секції даної лінії, а VC-4 може надходити з іншої ділянки мережі і мати іншу тактову частоту і додаткові коливання фази.

Необхідність коректування показана пунктиром. Вона виконується визначеним у Рек. G. 709 механізмом вказівника. Завдяки цьому механізму VC-4 одержує можливість «плавати» всередині STM-I, причому початок його циклу визначається за значенням покажчика.

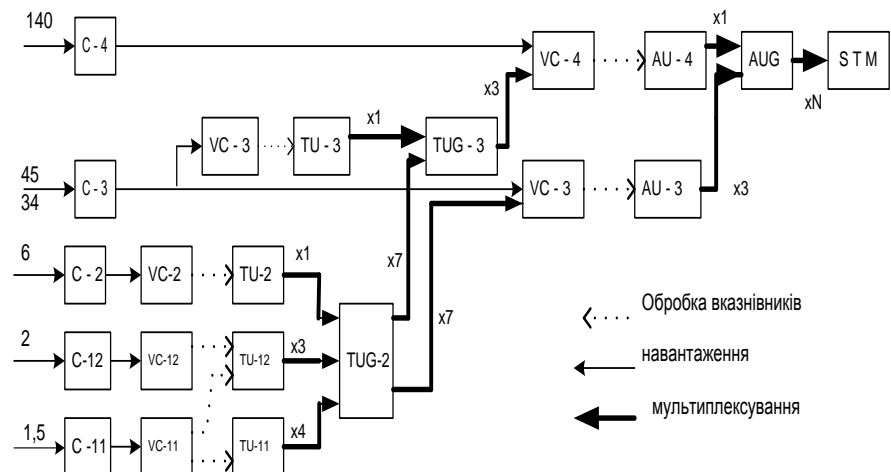


Рис.6. Схема перетворень SDH

Додаванням цього покажчика до VC-4 утвориться адміністративний блок AU-4 (у даному випадку збігається з групою адміністративних блоків AUG). Аналогічні операції з покажчиками передбачені на рівнях TU-3, а також TU-12.

STM-N утвориться побайтним об'єднанням N груп AUG і заголовка SOH (мультиплексування). Заголовки в STM-4, 16, 64 утворюються автономним формуванням, а не побайтним об'єднанням заголовків нижчого рівня. Кожна AUG займає фіксоване положення в циклі STM-N. Кількість об'єднаних AUG відзначається в RSOH. Мультиплексування позначено на схемі подвійними лініями. Кількість об'єднаних блоків і субблоків зазначено у ліній.

Оскільки розглянута схема допускає неоднозначність побудови STM-N, у Рек. G. 708 установлені наступні правила мережних з'єднань:

- при з'єднаннях AUG, одна з яких складена на основі AU - 4 , а інша - на основі AU - 3 , перевага віддається першій групі. AUG, заснована на AU - 3, повинна демультимплексуватися до рівня VC-3 чи TUG-2 (у залежності від виду навантаження) і знову збиратись в AUG по шляху TUG - 3/VC-4/AU-4;

- при з'єднаннях VC-11, для транспортування яких можна використовувати як TU-11, так і TU-12, перевага віддається TU-11.

2.3. Лінійні тракти в мережах SDH

У SDH використовуються одномодові волоконно-оптичні (ВО) лінії і радіолінії. Параметри апаратури передачі на інтерфейсах мережних вузлів встановлені в Рек. G. 957, а характеристики регенераційних секцій - у Рек. G. 958.

2.3.1. Визначення лінійного тракту SDH

На рис.7 приведена узагальнена схема лінійного тракту SDH (ЛТ). Апаратура кінцевих пунктів (КП) - це синхронний мультиплексор, апаратура оперативного переключення, апаратура введення/виведення. Короткі ЛТ можуть і не містити регенераторів.

На рис.7 зазначені «сфери впливу» рекомендацій, що стосуються ЛТ. Рек. G. 957 поширюється на оптичні секції, тобто частини ЛТ від електронно-оптичного до оптоелектронного перетворення (на малюнку позначені Э/О) тоді, як G. 958 - на весь ЛТ між КП, включаючи регенератори. Електронна частина ЛТ нормується Рек. G. 782, 783 і 784 (на малюнку вони узагальнені позначенням G.78x).

Рекомендації з SDH регламентують функції її структур, залишаючи волю для апаратурних реалізацій. Рис.7 ілюструє поділ функцій між преосвітньою апаратурою і лінійними трактами SDH. Відзначено визначені Рек. G. 783 еталонні точки А і С, у яких виробляється нормування основних параметрів ЛТ. Точки А еквівалентні точкам S/R Рек. G.955. 956 (це вхід/вихід волокна), крапки З - вхід/вихід функціональних блоків RST (Regenerator Section Termination) - закінчень регенераційної секції. Ці блоки обрамляють регенераційну секцію, входячи в її склад.

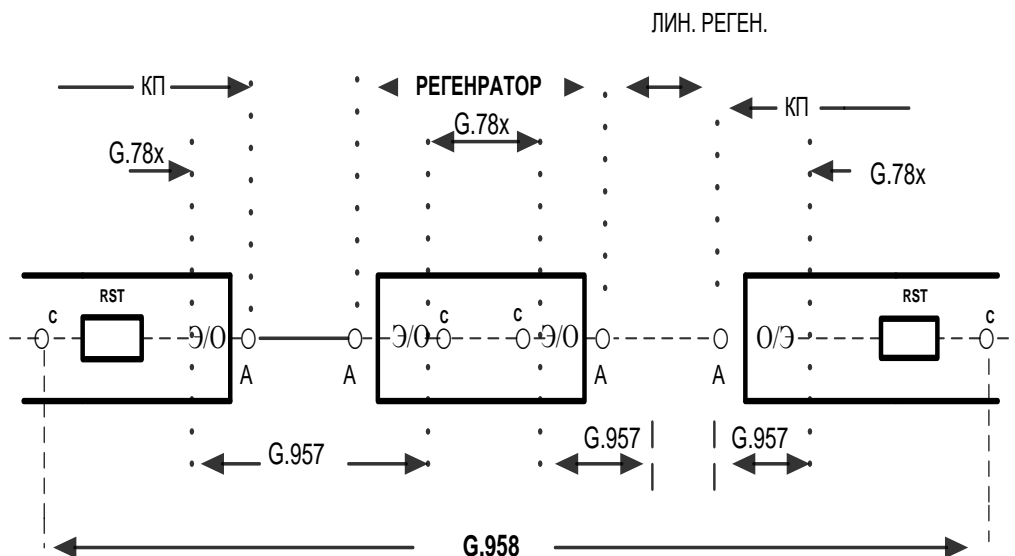


Рис. 7. Узагальнена схема лінійного тракту SDH

Зі станційної сторони на вхід RST надходить повний сигнал STM (синхронного транспортного модуля), у якому, однак, ще не визначені байти заголовка RSOH регенераційної секції. Блоки RST -джерела і споживачі цих заголовків, тут заголовки вводяться в STM і виводяться з нього.

Щоб не заважати проектуванню апаратури і забезпечити сумісність різних варіантів реалізації, ЛТ визначаються як засоби, що виконують транспортування STM між еталонними точками С двох послідовних синхронних мультиплексорів (чи іншої апаратури КП).

Таким чином, STM містять у собі кінцеві частини синхронних мультиплексорів (чи іншої апаратури КП) від С до А, КП і регенератори.

Нагадаємо, що введене в SDH поняття «транспортування» відрізняється від поняття «передача» наявністю органічно вбудованих у структури SDH розширених функцій контролю і управління.

2.3.2. Оптичні секції

2.3.2.1. Класифікація

Передбачається, що **ЛТ** будуть широко застосовуватися для міжстанційних і внутрішньостанційних з'єднань.

Комбінуючи, різні передавачі і приймачі, можна забезпечити оптимальне за ціною і загасанням (дисперсією) розподіл потужності між елементами КП для різних застосувань.

Таблиця 3

Застосування	внутрішньостанційні (I)	короткі (S)		довгі (L)		
Номинальна довжина хвилі випромінювання (нм)	1310	1310	1550	1310	1550	1550
Тип волокна по Рек. МСЕ-Т	G. 652	G. 652	G. 652	G. 652	G.652 G. 654	G. 653
Довжина секції (км)	<2	15	15	40	60	60
Рівень SDH	1-1	S-1.1	S-1.2	L-1.1	L-1.2	L-1.3
4	1-4	S-4.1	S-4.2	L-4.1	L-4.2	L-4.3
16	1-16	S-16.1	S-16.2	L-16.1	L-4.3	L-16.3

Рек. G. 957 визначає три широкі категорії ЛТ (табл. 1): I - внутрішньостанційні, з довжинами менш 2 км;

S - короткі міжстанційні з довжинами приблизно 15 км;

L - довгі міжстанційні - приблизно 40 км у вікні 1310 нм і більше 60 км у вікні 1550 нм.

Категорія L забезпечує максимальнодосяжні при сучасній технології довжини регенераційних секцій в умовах поперечної сумісності. В середині кожної категорії можливі КП з різними довжинами хвиль і типами волокна для трьох рівнів STM. У результаті встановлено 18 кодів застосувань (нижня графа табл. 3).

Довжини, обрані для табл.3, допускають можливість підвищення класу (пропускної здатності) діючих трактів при переході в діапазон 1550 нм. Ці довжини приблизно відповідають максимумам регенераційних секцій, але повинні використовуватися тільки для класифікації, а не як технічні вимоги.

2.3.2.2. Нормування параметрів

Рек. G. 957 містить визначення і нормовані в точках А значення параметрів КП ЛТ. Для досягнення поперечної сумісності оптичний передавач, оптичний приймач і власне волокно нормуються окремо: перший у точці S, безпосередньо після оптичного рознімання передавача,

другий - у точці R, безпосередньо перед оптичним розніманням приймача, а волокно - між точками S і R. Можливі додаткові рознімання (захист переключень і ін.) відносяться до волокна.

Для всіх параметрів указуються найгірші значення, що повинні витримуватись у всіх припустимих робочих умовах (у діапазонах температури і вологості) з урахуванням старіння. Ці умови ще вивчаються. Параметри відносяться до розрахункового Кп оптичної секції не гірше 10E(-10) для крайніх випадків загасання і дисперсії в кожному із застосувань табл.1. Лінійний код для усіх випадків - двійковий код NRZ (без повернення до нуля), скрембльований по Рек. G. 709.

Норми для кожного з трьох визначених до даного часу рівнів STM приведені у вигляді таблиці. Нижче на прикладі STM-16 (табл. 4) коментується перелік параметрів і спосіб задання норм. Коди застосувань відповідають останньому рядку табл. 3.

Довжини робочих хвиль визначені так, щоб забезпечити одномодовий режим, мінімальне загасання волокна і врахувати взаємодію дисперсії волокна зі спектральними характеристиками передавача.

1) Передавач

Скорочення SLM і MLM позначають відповідно лазери з однієї із багатьох подовжніх мод випромінювання. Вказівка типу випромінювача не є обов'язковим: MLM-лазер завжди може бути замінений SLM-лазером, а в тих застосуваннях (коди 1-1. 1-4), де достатній світлодіод, замість нього може бути використаний будь-який лазер.

Середньоквадратична (СК) ширина спектру розуміється як стандартне відхилення (сигма) спектрального розподілення. Для SLM-лазерів нормується максимальна повна ширина центрального піка спектра на рівні -20 дБ. Вивчається можливість уточнення нормування динамічних характеристик лазерів шляхом іспитів передачі по волокну з оцінкою Кп.

Середня потужність випромінювання - це середня потужність псевдовипадкової послідовності, що вводиться передавачем у волокно. Вона задана як діапазон значень - з метою забезпечити можливість оптимізації вартості і покриття допусків при роботі в межах нормальних умов, при старінні рознімання передавача, допусках на виміри і ефекти старіння.

Параметр Extinction ratio (назвемо його коефіцієнтом гасіння $K_{\text{гаш}}$) визначений так:

$K_{\text{гаш}} = 10 \lg (A/B)$, де A і B - величини середньої оптичної потужності для логічної одиниці (випромінювання) і логічного нуля (пауза) відповідно. Методи виміру $K_{\text{гаш}}$ вивчаються.

Загальні характеристики форми переданих імпульсів, включаючи час наростання і спаду, викиди обох напрямків і коливання на вершині, що усі повинні контролюватися для запобігання зайвої деградації чутливості приймача, задаються в Рек. G. 957 у формі маски окодіаграми передавача в точці S. В Додатку 1 до рекомендації розглядається вимірвальна установка для визначення окодіаграми оптичного сигналу, що передається.

2) Оптичний тракт

Для кожного застосування, зазначеного в табл.3, задається загасання і дисперсія оптичного тракту між S і R.

Вимоги до загасання відображають найгірші умови, включаючи втрати в зрощування, розніманнях, оптичних атенюаторах чи інших оптичних приладах і запаси для їх покриття:

- а) майбутніх змін конфігурації кабелю (додаткові зрощування, збільшення кабельних довжин і т.д.);
- б) змін якості волокна кабелю під впливом зовнішніх факторів;
- в) деградації будь-якого з'єднувача, оптичного атенюатора чи інших пасивних оптичних приладів між точками S і R.

Системи, що обмежуються дисперсією, мають максимальні значення дисперсії, зазначені в табл.4. Ці величини сумісні з максимально заданими додатковими втратами оптичних трактів 1 дБ (2 дБ для L-16.2). Вони враховують заданий тип передавача і дисперсію волокна в робочому діапазоні хвиль. Для систем, що обмежуються загасанням, максимальні значення дисперсії не задаються (у табл. 4 позначено «Нзд.»).

Відбиття виникають із-за стрибків коефіцієнта заломлення вздовж оптичного тракту. Неконтрольовані відбиття можуть знизити якість системи через переключування, внесені у

роботу лазера, або через те, що численні відбиття призведуть до появи шумів інтерференції в приймачі. У цій рекомендації відбиття в оптичному тракті контролюються завданням для:

а) мінімального ОЗВ (оптичного загасання відбиття) кабелю в точці S, включаючи будь-які з'єднувачі,

б) максимального дискретного відбиття (reflectance) між S і R.

Методи виміру відбиття описані в Рек. G. 957. Максимальне число рознімань інших точок дискретного відбиття, що можуть входити в оптичний тракт (наприклад, на щиті переключень), повинне бути таке, щоб забезпечувалося задане загальне ОЗВ. Якщо це не може бути виконано при використанні рознімань, що відповідають вимогам до максимального дискретного відбиття, зазначеним у таблиці, варто використовувати кращі рознімання або зменшити їхнє число. Значення -27 дБ для максимального дискретного відбиття між точками S і R повинне мінімізувати вплив багаторазового відбиття (наприклад, шуми інтерференції). Та ж цифра для максимального відбиття приймача повинна забезпечити прийнятні додаткові втрати через багаторазові відбиття для трактів, що містять багато рознімань. Тракти з малим числом рознімань чи високоякісними розніманнями створюють менше багаторазового відбиття і тому здатні допускати до застосування приймачі з більш високим відбиттям.

У трактах, у яких ефекти відбиття не обмежують якості системи (наприклад 1-1, 1-4, S-1.1, S-4.1 і ін.). відповідні параметри відбиття не задаються. Однак, якщо це необхідно для майбутнього підвищення класу, варто виконувати ці вимоги.

3) Приймач

Для нормальної роботи системи потрібно задавати мінімальну чутливість приймача і мінімальний рівень потужності перевантаження. Ці величини повинні бути сумісні з діапазоном середньої потужності випромінювання і діапазоном загасання, зазначеними для кожного застосування.

Чутливість приймача визначається як мінімальне значення середньої потужності в точці R, що забезпечує $K_p=10E(-10)$. Він враховує додаткові втрати потужності, що виникають при роботі передавача в стандартних умовах з найгіршими значеннями $K_{гаш}$, часу наростання і спаду імпульсів; ОЗВ в точці S, а також деградацію рознімання приймача і похибки вимірів. Чутливість приймача не враховує додаткових втрат потужності, пов'язаних з дисперсією, джитером чи відбиттям з оптичного тракту - ці ефекти розглядаються окремо при розподілі максимальних додаткових втрат оптичного тракту. Ефекти старіння окремо не розглядаються, тому що вони звичайно обговорюються між покупцем і виробником апаратури. Бажано, щоб типова різниця між чутливістю на початку і наприкінці життя приймача для найгірших умов була 2-4 дБ. Вимірювальний метод для визначення ефектів старіння чутливості приймача приведений у Додатку С до Рек. G. 957. Точка перевантаження приймача є максимально прийнятною величиною середньої прийнятої потужності в точці R при $K_p = 10E(-10)$. Щоб уникнути перевантаження може знадобитися оптичний атенюатор. Відбиття від приймача назад до кабелю задаються максимально припустимим відбиттям приймача, вимірним в еталонній точці R.

Таблиця 4

Цифровий сигнал STM-16 по Рек. G.958. G.707. 2488320 Кбит/с						
Коди застосувань	1-16	S-16.1	S-16.2	L.-16.1	L-16.2	L-16.3
Довжина робочої хвилі (нм)	1265- 1360	1260- 1360	1430- 1580	1280- 1335	1480- 1580	1480-1580
Передавач в еталонній точці S						
Тип випромінювача	MLM	SLM	SLM	SLM	SLM	SLM
- макс. скв ширина спектра (нм)	4	-	-	-	-	-
- макс. смуга на -20 дБ (нм)	-	1	<1	1	<1	<1
- мін. Придушення бічних мод (дБ)	-	30	30	30	30	30
- середня випромінювана потужність макс. (дБм)	-3	0	0	0	+1	0
мін. (дБм)	-10	-5	-5	-5	-4	-5
- $K_{\text{гаш хв.}}$ (дБ)	8,2	8,2	8.2	10	8.2	10
Оптичний тракт між S і R						
загасання (дБ)	0-7	0-12	0-12	10-20	10-20	10-20
макс. дисперсія (пс/нм)	12	Нзд	-	Нзд	-	-
мін. ОЗВ кабелю в точці S, включаючи рознімання (дБ)	24	24	24	24	24	24
скретне відбиття між S і R	-27	-27	-27	-27	-27	-27
Приймач в еталонній точці R						
мін. чутливість (дБм)	-18	-18	-18	-26	-26	-26
мін. перевантаження (дБм)	-3	0	0	-10	-9	-10
макс. додат. втрати оптичного тракту (дБ)	1	1	1	1	2	1
макс. відбиття приймача в точці R (дБ)	-27	-27	-27	-27	-27	-27

Приймач повинен витримувати додаткові втрати в оптичному тракті, що не перевершують 1 дБ (2 дБ для L-16.2) для обліку загальної деградації через відбиття, міжсимвольної інтерференції, шуму перерозподілу мод та ін. На рис.8 зображено співвідношення між окремими параметрами КП.

4)Проектування

У Рек. G. 957 **зазначені** норми для найбільш важких умов, щоб забезпечити прості вказівки для проектувальників **мереж** і чіткі специфікації для виробників компонентів. Тому не **зазначені** ні загальносистемні запаси, ні запаси на апаратуру, і передбачається, що передавачі, приймачі і лінія окремо відповідають заданим вимогам у стандартних робочих умовах. Це може **призвести** до більш консервативного проектуванню тракту, **яке** можна досягти при **взаємозалежному** проектуванні елементів **КП**, а також у застосуваннях **менш жорстких**, ніж **стандартні**, чи при використанні статистичного проектування.

Статистичне проектування засноване на розрахунку секції **з** довжиною, що перевершує довжину, **визначену** методом проектування для найбільш важких умов. При цьому допускається деяка ймовірність перевищення значень, запропонованих для загасання (дисперсії) між **точками** S і R **чи** недотримання умов **поперечної** сумісності. У довгих високошвидкісних трактах таким шляхом можна досягти **помітної** економії на регенераторах. При використанні статистичного проектування параметри секції виражаються в термінах статистичних розподілень, що є відомими від виробників апаратури. Серед параметрів, що можуть розглядатися статистичними по природі, можна вказати втрати в зрощуваннях і розніманнях,

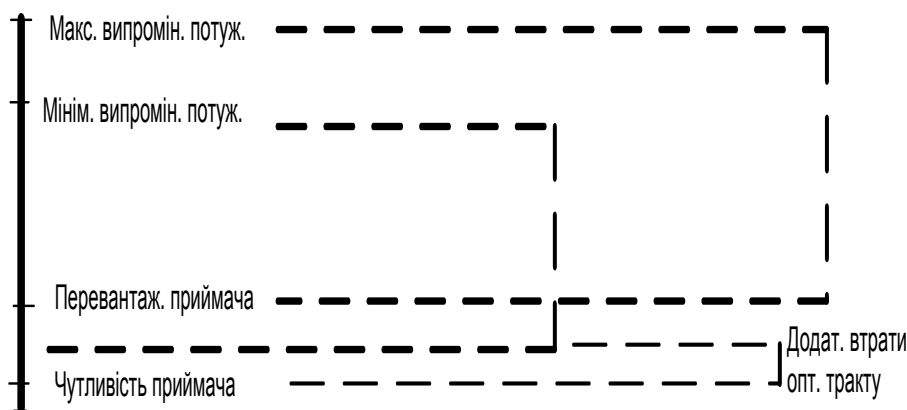


Рис.8. Співвідношення між окремими параметрами

загасання кабелю, довжину хвилі з нульовою дисперсією, нахил характеристики в точці з нульовою дисперсією та ін.

Відповідно до практики проектування кожний з цих параметрів може розглядатися як детермінований або випадковий. У випадку напівстатистичного проектування тим параметрам, що детерміновані, можуть бути прийняті нульові смуги розподілів навколо значень для найгірших умов.

2.3.3. Регенератори

Перелік функцій, що виконують регенератори ЛТ, значно ширший, ніж в існуючих лінійних трактах, що пов'язано з переходом від процесу передачі інформації до процесу транспортування інформації в рамках SDH. Нові функції ЛТ і регенераторів описує Рек. G. 958.

Обробка заголовків RSOH регенераційної секції - нова функція

регенераторів ЛТ. Заголовок RSOH створюється і вводиться в STM у функціональному блоці RST на початку СЛТ. У кожному регенераторі заголовок приймається, використовується і знову створюється і вводиться в цикл STM (частина байтів транслюється з прийнятого заголовка) - і так до кінця ЛТ. Згідно Рек. G.708, RSOH складається з трьох рядків по $9N$ байт, де N – рівень STM. На рис.9 зображений RSOH STM-1. Кожна клітинка цього рис. відповідає одному байту і пропускній здатності 64 Кбіт/с. Призначення байтів: A1, A2 : цикловий синхросигнал. C1 – вказівник кратності (від 1 до N) стовпців заголовка (він іноді використовується і для циклової синхронізації), B1 - контроль помилок у регенераційній секції, E1 - канал службового зв'язку, F1 - канал користувача, D1, D2, D3 - канал передачі даних DCC (Data Communications Channel) системи контролю і керування SDH. Заштриховані байти для національного використання, інші - зарезервовані на майбутнє. Для локалізації ушкоджених регенераційних секцій використовується метод перевірки бітів циклу STM на парність за розрядами октетів – метод VIP-8 (Bit Interleaved Parity 8), що відповідає наступному. У передавальному устаткуванні тракту обчислюється код VIP-8, що містить 8 біт. Перший біт коду доповнює до парного числа суму значень перших бітів всіх октетів циклу STM, другий біт робить парну суму інших бітів октетів і т.д. Код VIP-8 обчислюється за скрембльованим циклом STM і як байт B1 вставляється в наступний цикл STM до його скремблювання. Байти першого ряду заголовка (тобто перші $9N$ байтів циклу STM) не скремблюються. У регенераторі по прийнятому синхросигналу виконується фазування, а потім по всьому циклу STM обчислюється код VIP-8, що використовується для порівняння з байтом B1 наступного циклу. Результат порівняння (кількість помилок в B1 за цикл STM) за допомогою засобів, що забезпечуються функцією SEMF регенератора, передається в систему контролю і управління SDH.

Після обчислення VIP-8 сигнал дескремблюється, і з нього виділяються і використовуються байти RSOH, включаючи байт B1. Процеси в передавальній частині

регенератора повторюють описані вище для передавальної частини тракту. Обчислення ВІР-8 на кожному регенераторі істотно підвищує якість контролю ЛТ.

A1	A1	A1	A2	A2	A2	C1	■	■
B1			E1			F1	■	■
D1			D2			D3		

Рис. 9. RSON STM-1

Процеси скремблювання/дескремблювання в проміжних регенераторах можуть бути обмежені тільки байтами RSON, оскільки в регенераторах необхідний доступ тільки до цих байтів.

У кожному регенераторі повинен забезпечуватися доступ до каналу службового зв'язку (байт E1). Доступ до каналу користувача (байт F1) у проміжних регенераторах не обов'язковий, тому що цей канал призначений в основному для мережних служб.

Засоби доступу до байтів E1 і F1 забезпечуються функцією ОНА (Over Head Access) доступу до заголовку, що входить до складу регенератора. Якщо на даній лінії передачі застосовується система 1:K резервування лінійних трактів, то не всі регенератори даного пункту повинні одержувати доступ до каналу службового зв'язку.

Канал DCC призначається для обслуговування системи контролю і управління SDH. Засоби доступу до нього забезпечуються функцією MCF. Регенератори повинні мати можливість ігнорувати байти національного використання і резервні.

У випадку прийому сигналу аварії AIS (всі одиниці) чи при зникненні вхідного сигналу регенератор видає нормальний заголовок, а інші біти циклу замінюються на одиниці. Це сигнал MS-AIS - сигнал аварії мультиплексної секції. При передачі MS-AIS регенератор повинен синхронізуватися від внутрішнього генератора з нестабільністю не гірше $20 \times 10E(-6)$.

Передбачається, що в майбутньому деякі резервні байти заголовка будуть обслуговувати функції, специфічні для середовища передачі, наприклад, для ідентифікації напрямку передачі сигналів у ЛТ із двосторонньою передачею по одному волокну.

Вивчається скорочений перелік функцій для регенераторів внутрішньостанційних ЛТ. Управління і контроль регенератора повинні відповідати зазначеним у Рек. G. 784 загальним принципам контролю і керування, а також принципам взаємодії з TMN (Telecommunication Management Network) - системою керування мережею зв'язку, регламентованою Рек. M.30.

Згідно Рек. G. 958, до складу функцій регенератора повинна входити SEMF (Synchronous Equipment Management Function) - функція обслуговування апаратури SDH. Функція SEMF контролює усі функції регенератора, що відносяться до обслуговування і управління. Всі повідомлення про відмовні стани сигналу, отримані в різних функціональних блоках регенератора, передаються за допомогою цієї функції.

SEMF регенератора містить фільтруючі функції, що перетворюють інформацію, що надходить від функціональних блоків, у форму, прийнятну для керування мережею, і навпаки. Деякі види інформації не обробляються фільтруючими функціями. Використовувані в регенераторі фільтруючі функції описані в деталях у Рек. G. 783. У Рек. G. 784 зазначено можливе використання внутрішніх накопичувачів для відновлення історії параметрів якості, можливість генерування автономних аварійних повідомлень при досягненні граничних значень і можливість зовнішнього встановлення порогів.

SEMF регенератора містить функцію Агента (Agent), що керує обміном інформації з іншими об'єктами SDH чи з TMN для цілей контролю, і управління. Характеристика Агента дана в Рек. G. 784. Повідомлення SEMF передаються по логічному вбудованому каналу керування ECC (Embedded Control Channel), що використовує канал DCC як фізичний рівень.

Засоби для передачі і прийому повідомлень забезпечуються функцією MCF (Message Communication Function) передачі повідомлень, що приєднується до SEMF і до Q-інтерфейсу (інтерфейс місцевої мережі обслуговування), коли він існує. Вхідні байти D1-D3 виділяються і направляються в MCF. Трансльовані і генеровані на місці повідомлення передаються, як байти D1-D3 RSON вихідного циклу STM.

Для зв'язку з об'єктами, зовнішніми стосовно мережі SDH, можуть використовуватися два інтерфейси. Інтерфейс Q₃ може з'єднувати регенератор з операційною системою пристроєм обробки інформації. Інтерфейс F може використовуватися для з'єднання регенератора з робочим місцем з метою контролю і управління.³³

2.3.4. Загальні характеристики ЛТ

1) Величина коефіцієнта помилок ЛТ повинна при будь-яких умовах відповідати якісним показникам рекомендації G. 821. Зокрема, ЛТ повинні забезпечувати показники помилок не гірше «1-го класу якості секцій», визначеного в цій рекомендації.

Сигнали STM містять області, структура даних, всередині яких сприяє виникненню цифрових помилок. Зокрема, можливе закриття окодіаграми внаслідок зміни середнього рівня сигналу, що пов'язано зі зміною щільності комбінацій символів. Можливі помилки через нездатність схеми синхронізації перекрити області, що містять малу синхроінформацію. Це явище ускладнюється появою періоду низького змісту синхроінформації, що впливає за першим рядом байтів заголовка STM.

Для перевірки здатності апаратури працювати без помилок у вищевказаних умовах на стадії проектування й у процесі збору обладнання можна використовувати приведеній у Додатку 1 до Рек. G. 958 метод оцінки CID - імунітету блоків апаратури (CID - Consecutive Identical Digit - сусідні ідентичні цифри).

2) Характеристики джитера вводяться з метою контролю нагромадження джитера в ЛТ і відносяться до сигналів оптичних інтерфейсів на рівнях STM. Задаються граничні норми по трьох характеристиках: створення джитера; стійкість до джитера і передача джитера. Створюваний регенератором джитер (середньоквадратичне значення) не повинен перевищувати 0,01 ПІ (тактового інтервалу), якщо на вході джитер відсутній. Смуга частот вимірів і методика вивчаються. Стійкість до джитера визначається як розмах синусоїдального джитера у вхідному сигналі STM, що викликає використання 1 дБ оптичної потужності в оптичній апаратурі. Апаратура повинна бути стійка як мінімум до джитера, що відповідає шаблону, зазначеному в Рек. G. 958 для кожної швидкості передачі (у цьому шаблоні для низьких частот амплітуда джитера задана 1,5 ПІ, а для високих - 0,15 ПІ).

Функція передачі джитера визначається, як відношення джитера вихідного сигналу STM до джитера вхідного сигналу, в залежності від частоти і задається окремим шаблоном (підсилення не вище 0,1 дБ на НЧ із падінням 20 дБ на декаду на ВЧ). При цьому вхідний джитер задається тим же шаблоном, що і для нормування стійкості ЛТ до джитера.

3) Безпека лазерного устаткування повинна відповідати стандарту МЭК 825 і національним вимогам. У додатку II до Рек. G. 958 дається приклад втілення функції АГЛ (автоматичні гасіння лазера) при обриві кабелю. Ця функція розглядається, як необов'язкова. При наявності АГЛ у систему, контролю і керування STM подаються сигнали про включення/вимикання лазера. Функція АГЛ не повинна впливати на можливість локалізації ушкоджень у випадку пропадання сигналу в передавачі чи приймачі з будь-якої причини крім обриву кабелю.

2.3.5. Контроль і керування ЛТ

Оперативні, адміністративні й експлуатаційні характеристики ЛТ повинні відповідати Рек. M.20, M.30 і G.784. Зокрема, принципи керування базуються на концепції, визначеної в

рекомендації М. 30, а саме: функціональна організація керування (конфігурація, якісні показники, ушкодження); функціональний опис елементів мережі в об'єктах керування.

З погляду керування, як визначено в Рек. G. 784, ЛТ розглядають як підсистеми системи керування SDH. Вони повинні забезпечувати загальні функції керування (зокрема, функції керування якістю), описані в Рек. G.784. Архітектура і функції вбудованого каналу ЕСС, що використовує байти D1-D3, його інформаційна модель і протоколи повинні відповідати Рек. G. 784, а ЛТ - мати на кожному кінці хоча б один інтерфейс до Рек. G. 773.

Для перших застосувань, коли мережа керування TMN ще не побудована, ЛТ забезпечують самостійні функції керування (контроль якості, локалізацію ушкоджень, видачу сигналів аварії).

Нижче перелічуються параметри, що контролюються в ЛТ для полегшення локалізації пошкоджень. Вони не призначені для первинної індикації ушкодження тракту.

Статус сигналу: показує, чи знаходиться рівень потужності передавача в межах, визначених Рек. G.957. Кожен параметр повинен мати два значення: «у межах» і «поза межами». Мета контролю –

вказати чи є серйозне ушкодження передавача.

Втрата вхідного сигналу: формує сигнал «вхідний сигнал відсутній», коли рівень вхідної потужності в приймачі падає нижче необхідного для одержання $K_p=10E(-3)$. Мета контролю - вказати відмову передавача або обриви оптичного тракту.

Зсув лазера: використовується для контролю струму зсуву лазера передавача. Мета контролю - знайти деградацію лазера задовго до катастрофічного відмовлення тракту.

Температура лазера: визначаються значення «у межах» і «поза межами». Мета контролю - виявлення ушкодження ланцюгів керування температурою передавача.

2.4. Заголовки секцій і трактів, сигнали обслуговування в SDH

2.4.1. Секційний заголовок SDH

Структура секційного заголовка показана на рис. 10.

A1	A1	A1	A2	A2	A2	C1	x	x	R S O N
B1	■	■	E1	■		F1	X	X	
D1	■	■	D2	■		D3			
AU-вказівники									H
B2	B2	B2	K1			K2			M S O N
D4			D5			D6			
D7			D8			D9			
D10			D11			D12			
Z1	Z1	Z1	Z2	Z2	Z2	E1	X	X	

x - байти національного використання

X - нескрембльовані байти, необхідно піклуватися про їхній зміст

■ - байти, залежні від середовища передачі (радіо)

Рис. 10. Структура секційного заголовка

Примітка: *Непозначені байти зарезервовані для майбутньої міжнародної стандартизації (як залежні від середовища передачі, додаткові національні і для інших цілей).*

Призначення байтів заголовка, обумовлене Рек. G. 709, що впливає:

A1, A2 - циклова синхронізація.

C1 - визначник рангу STM (рівня ієрархії).

D1-D12 - канал передачі даних (DCC). Для регенераційної секції використовується канал 192 Кбіт/с (D1-D3), а для мультимплексної секції - канал 576 Кбіт/с (D4-D12).

E1, E2 - службовий канал, телефонний зв'язок.

E1- частина RSOH, доступна в регенераторах.

E2 - частина MSON, доступна на закінченнях мультиплексних секцій.

F1 - канал користувача - створення тимчасових телефонних чи ПД-з'єднань (ПД - передача даних) для спеціальних експлуатаційних нестатків.

B1 - контроль помилок регенераційної секції методом ВІР-8. Код ВІР-8 обчислюється по всіх бітах попереднього циклу STM-N після скремблювання і вписується в байт В1 перед скремблюванням.

B2 - контроль помилок мультиплексної секції методом ВІР-24. Код ВІР-24 обчислюється по всіх бітах попереднього циклу STM-N, крім трьох перших рядів SON і міститься в байті В2 перед скремблюванням.

K1, K2 - сигналізація автоматичного переключення на резерв.

Z1 (біти 5-8) - статус синхронізації. Біти 5-8 першого байта Z1 відведені для повідомлень про статус даного тракту в системі синхронізації (визначено 4 рівні).

Z1, Z2 - запас для ще не визначених функцій.

2.4.2 Трактові заголовки

а) Заголовки віртуальних контейнерів верхнього рангу і їхніх зчіпок (VC-3/VC-4/VC-4 - XC).

Дані заголовки займають перший стовпець таблиць циклів зазначених структур (див. рис. 2, 4, 10 і складаються з 9 байтів, що позначаються J1, B3, C2, G1, F2, H4, Z3, Z4, Z5 - рис. 11).

Призначення окремих байтів цього заголовка наступне.

J1 - траса тракту. Перший байт віртуального контейнера, положення якого вказується AU - n чи TU - n вказівником. Цей байт використовується для повторюваної передачі мітки пункту доступу тракту верхнього рангу, щоб приймальне устаткування тракту могло перевіряти безперервність з'єднання з необхідним передавачем.

B3 - трактовий ВІР-8. Обчислюється по всіх бітах попереднього циклу VC після скремблювання і вписується в байт B3 поточного циклу перед скремблюванням.

C2 - марка сигналу. Вказує зміст VC (наприклад, "не обладнаний", "обладнаний, сигнал нестандартний", "структура TUG", "ATM").

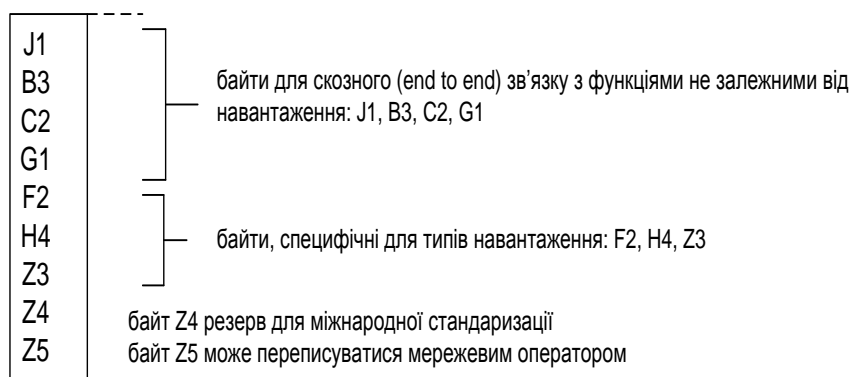


Рис. 11. Заголовок трактів вищого рангу

G1 - статус тракту. Байт для повернення передавачу тракту повідомлення про стан і якісні показники засобів закінчення тракту. Дає можливість контролювати статус і якість повного дуплексного тракту на будь-якому кінці й у будь-якому проміжному пункті тракту. Біти 1-4 несуть сигнал FEBE (Far End Block Error) і повідомляють число блоків біт, що визначені, як помилкові за допомогою коду ВІР-8 (B3). Сигнал FERF (Far End Receive Failure) аварії на

дальньому кінці тракту повинен посилатися асемблером VC, як тільки цей асемблер не одержить правильного сигналу. Сигнал FERF передається, як 1 у біті 5, в протилежному випадку цей біт є 0. Умовою генерації сигналу FERF є приймання AIS, пропадання сигналу або помилка в трасі тракту. Біти 6, 7, 8 не використовуються.

F2, F3 - канал користувача тракту. Зв'язок користувача між елементами тракту.

H4 - позиційний вказівник. Узагальнений пвказівник навантаження (наприклад, вказівник положення зверхциклу для VC-1/VC-2).

Z4 - запас для майбутнього. Значення не визначене.

Z5 - байт мережного оператора для експлуатаційних цілей. Наприклад, для транзитних з'єднань біти 1-4 використовуються для підрахування вхідних помилок, а біти 5-8 - для каналу зв'язку.

б) Заголовки трактів нижнього рангу VC-1/VC-2.

Структура заголовка трактів нижнього рангу показано на рис. 3. Це байти V5, J2, Z6 і Z7. Байти заголовка використовуються тільки в режимі розміщення, що плаває, VC у TU, коли 4 сусідніх 125-мкс цикли VC об'єднуються в 500-мкс зверхцикл. Байт V5 є перший байт зверхциклу і його розташування вказується вказівником TU-1 / TU-2.

Призначення байтів заголовка.

Байт V5 - контроль помилок, марка сигналу і статус тракту VC-1/VC-2. Біти 1 і 2 використовуються для контролю помилок. Використовується метод VIP-2. Біту 1 дається таке значення, щоб привести до парності значення непарних бітів (1, 3, 5, 7) усіх байтів попереднього VC, а біт 2 виконує аналогічну операцію з парними бітами (2, 4, 6, 8). Обчислення VIP-2 включає байти заголовка VC, але виключає байти V1, V2, V3 (крім випадків використання негативного стафінгу) і V4.

Біт 3 - індикатор FEBE тракту VC-1/VC-2, що приймає значення 1 і посилається назад до організатора тракту, якщо одну чи більше помилок виявлено за допомогою VIP-2, а в протилежному випадку він має значення 0.

Біт 4 - індикація аварії на дальньому кінці RFI. Він дорівнює 1, якщо оголошена аварія, в протилежному випадку - 0.

Біти 5-7 несуть марку сигналу VC-1/VC-2 і можуть позначати 8 бінарних чисел (необладаний тракт, нестандартний сигнал та ін.).

Біт 8 - FERF тракту. Він приймає значення 1, якщо прийнятий AIS тракту TU-1/TU-2, чи пропав сигнал, в протилежному випадку він 0. FERF тракту VC-1/VC-2 посилається назад асемблером цього тракту.

Байт J2 - використовується для повторюваної передачі Мітки Пункту Доступу Тракту Нижнього Рангу, щоб прийомне устаткування тракту могло перевіряти безперервність з'єднання з необхідним передавачем.

Байт Z6 - вивчається.

Байт Z7 - резерв на майбутнє.

2.4.3. Сигнали обслуговування в мережах SDH

а) При обслуговуванні секцій застосовуються наступні сигнали.

AIS - сигнал, що посилається далі по напрямку передачі як вказівка про виявлення аварії, що відбулася до даного пункту. MS-AIS виявляється, як усі «1» у бітах 6, 7 і 8 байта K2 після дескремблювання.

MS-FERF використовується для повернення на передавальну станцію вказівки, що прийомна станція знайшла ушкодження вхідної чи секції в якості AIS приймальної секції. MS-FERF виявляється, як код 110 у бітах 6, 7 і 8 байта K2 після дескремблювання.

б) При обслуговуванні трактів застосовуються наступні сигнали. Вказівка відсутності устаткування VC-n (n=3, 4) чи VC-4-Xc - усі нулі у мітці сигналу тракту віртуального контейнера (байт C2) після скремблювання. Те ж для тракту нижнього рангу VC-1(2) - усі нулі в мітці сигналу тракту нижнього рангу (біти 5-7 байта V5). Цей код вказує кінцевому

устаткуванню віртуального контейнера, що даний контейнер навмисно не обладнаний, так що аварійні сигнали повинні бути подавлені. AIS трактів TU-n (n=1, 2, 3) визначається, як усі «1» у TU-n, включаючи його вказівник. Аналогічно, AIS трактів AU-n (b=3, 4) визначається, як усі «1» у AU-n, включаючи його вказівник. Усі трактові AIS передаються в сигналах STM-N з діючим SOH.

2.5. Синхронізація

Система синхронізації мереж SDH будується на ієрархічному принципі. Верхній рівень ієрархії займає первинний еталонний генератор, що задає, (ЗГ), і виробляє хронуючий сигнал з довгостроковим відхиленням частоти не більш, ніж 10^{-11} . Від нього виробляється примусова синхронізація всіх інших (ведомих) ЗГ. Синхронізація виробляється передачею хронуючого сигналу від одного ЗГ до наступного. У такий спосіб утворюється ієрархія ЗГ, у якій одні з них є ведомими стосовно ЗГ більш високих порядків і, у свою чергу, відіграють роль головних (ведучих) ЗГ для ЗГ більш низького порядку. Нижній рівень ієрархії ЗГ утворюються устаткуванням SDH.

Хронуючі сигнали передаються по так званим синхротрасам, у якості яких використовуються лінійні тракти STM-N. На ділянках із системами PDH синхронізуються сигнали 2 Мбіт/с, що також використовуються як синхротраса.

Для забезпечення високонадійної роботи системи синхронізації приймається цілий ряд спеціальних заходів. Первинний ЗГ обов'язково резервується. Як правило, резервуються і ЗГ, вбудовані в устаткування SDH. Для передачі хронуючих сигналів використовуються географічно рознесені синхротраси. В якості резервних можуть використовуватися РРЛ.

Устаткування SDH має можливість приймати хронуючі сигнали від декількох джерел, для яких задається пріоритет використання. Є також кілька виходів синхронізації для інших мережних елементів. У випадку втрати хронуючих сигналів від ведучого ЗГ ведомий ЗГ переходить у режим утримання частоти, що відповідає переходу даної ділянки мережі в плезиохронний режим, що може використовуватися в мережі SDH як аварійний. При цьому якість роботи може знижуватися.

3. АРХІТЕКТУРА І ФУНКЦІОНАЛЬНІ МОДУЛІ МЕРЕЖ SDH

З'єднання модулів між собою розглянемо з логічної і фізичної сторін. Взаємодія модулів, необхідна для реалізації логіки роботи мережі, визначає функціональні зв'язки - топологію й архітектуру. Вони допомагають досліджувати загальні закономірності функціонування мережі, виявляти її переваги і недоліки, знаходити оптимальні рішення конкретної задачі. У той же час модулі зв'язані кабелями (як правило, волоконно-оптичними) або радіоканалами, що формують фізичне середовище поширення SDH-сигналу з властивими їм технічними обмеженнями. Розглянемо логіку побудови волоконно-оптичних мереж.

3.1. Функціональні модулі мережі SDH

Набір модулів, з яких будуються мережі SDH - мультиплексорів, комутаторів, концентраторів, регенераторів і термінальних пристроїв - визначаються наступними основними операціями, що виконуються при передачі сигналів в мережах:

- збір вхідних потоків за допомогою каналів доступу (трибутарних каналів) в агрегатний блок, що транспортується по мережі;
- пересування агрегатних блоків по мережі з можливістю введення/виведення вхідних потоків;
- передача віртуальних контейнерів з одного сегмента мережі в іншу за допомогою комутаторів чи крос-конекторів (DXC - Digital Cross-Connect);
- об'єднання кількох однотипних потоків у розподільному вузлі - концентраторі;
- відновлення форми й амплітуди сигналів, переданих на великі відстані;
- сполучення з мережами користувачів за допомогою пристроїв, що узгоджують - конверторів інтерфейсів, швидкостей, імпедансів і т.д.

3.1.1. Мультиплексор (multiplexer - MUX) - основний функціональний модуль мереж SDH і PDH.

Цим терміном позначають пристрої збору (мультиплексування) високошвидкісного потоку з низькошвидкісних і розбирання (демультиплексування), тобто виділення з високошвидкісного низькошвидкісних потоків.

Мультиплексори SDH (SMUX) на відміну від мультиплексорів, що використовуються у мережах PDH, можуть виконувати і функції власне мультиплексора і пристрою термінального доступу, дозволяючи підключати низькошвидкісні канали ієрархії PDH безпосередньо до своїх вхідних портів. До того ж вони здатні вирішувати задачі комутації, концентрації і регенерації внаслідок їхньої конструкції. Таким чином, їх можливості залежать лише від системи керування і складу модулів. Розрізняють два типи мультиплексорів: термінальні і введення/виведення.

1) Термінальний мультиплексор (terminal multiplexer - TM) є кінцевим пристроєм мережі SDH з деяким числом каналів доступу, що відповідає визначеному рівню ієрархій PDH і SDH. Для мультиплексора четвертого рівня ієрархії SDH (STM-64), що має швидкість вихідного потоку 10 Мбіт/с, вхідними каналами можуть служити триби PDH зі швидкістю передачі даних 1,5; 2; 6; 8; 34; 45; 140 Мбіт/с і триби SDH зі швидкістю 155, 622 і 2500 Мбіт/с (відповідно STM-1, STM-4, STM-16). Якщо канали PDH є електричними, то канали SDH можуть бути як електричними (для STM-1), так і оптичними. У мультиплексорів третього рівня виключається вхідний канал зі швидкістю 2500 Мбіт/с, другого - канал зі швидкістю 622 Мбіт/с. У мультиплексорів першого рівня вхідними можуть бути тільки канали PDH. Конкретний мультиплексор може і не підтримувати повний набір вхідних каналів доступу.

Важливою особливістю мультиплексора SDH є наявність двох оптичних виходів (каналів прийому/передачі), що називаються агрегатними і використовуються для резервування (захисту) за схемою 1 + 1 з метою підвищення надійності. Ці виходи (у залежності від топології мережі) можуть називатися основними і резервними (лінійна топологія) чи східними і західними (кільцева топологія). Потрібно відмітити, що терміни «східний» і «західний»

стосовно до мереж SDH використовуються досить широко для вказівки на два прямо протилежних шляхи поширення сигналу в кільцевій топології: один по кільцю вліво - «західний», інший - по кільцю вправо - «східний». Вони не обов'язково є синонімами термінів «основний» і «резервний». Якщо резервування не застосовується, то досить одного виходу.

2) Мультиплексор введення/виведення (Add/Drop Multiplexer - ADM) може мати той же набір каналів введення, що і термінальний мультиплексор, і додатково такий же набір каналів виведення.

3.1.2. Концентратор – вироджений випадок мультиплексора.

Він поєднує однотипні потоки декількох вилучених вузлів мережі в одному розподільному вузлі, зв'язаному з головною транспортною магістраллю. Це дозволяє зменшити загальне число підключених безпосередньо до неї каналів. Концентратор дає можливість вилученим вузлам обмінюватися інформацією між собою, не завантажуючи основний трафік.

3.1.3. Регенератор має один вхідний канал доступу (як правило, оптичний канал STM-n) і один чи два (при використанні захисту 1 + 1) агрегатних виходів.

Регенератор застосовують, якщо потрібно збільшити відстань між вузлами мережі SDH. Без регенерації для одномодових волоконно-оптичних кабелів вона складає 15 - 40 км (при довжині хвилі порядку 1300 нм) чи 40 - 80 км (1500 нм), а за допомогою регенератора його можна збільшити до 250 - 300 км.

3.1.4. Комутатор - пристрій, що дозволяє зв'язувати різні канали, закріплені за користувачами, шляхом організації напівпостійного перехресного з'єднання між ними.

Тим самим стає можливою маршрутизація в мережі SDH на рівні віртуальних контейнерів VC-n, керована менеджером мережі в залежності від заданої конфігурації.

Можливість внутрішньої комутації каналів фізично закладена в мультиплексорі SDH. Так, якщо менеджер корисного навантаження встановлює логічну відповідність між каналом доступу і трибним блоком TU, як показано на рис.12, це означає встановлення внутрішньої комутації каналів. Комутація власних каналів доступу мультиплексора (рис. 13), називається локальною комутацією каналів.

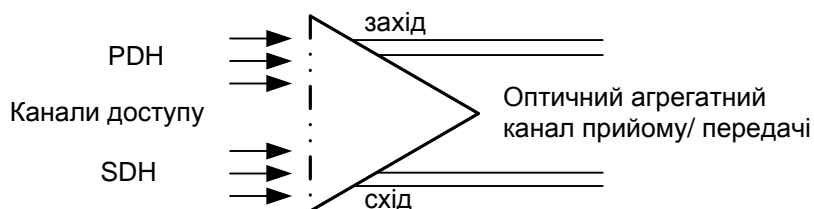


Рис. 12. Синхронний мультиплексор

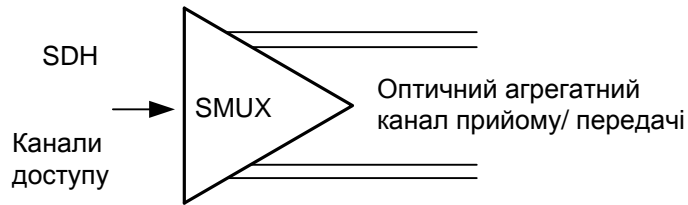


Рис. 13. Мультиплексор у режимі регенератора

Однак звичайно використовують спеціально розроблені комутатори (Synchronous Digital Cross-Connects - SDXC), що здійснюють не тільки локальну, але і сквозну (загальну) комутацію високошвидкісних потоків (зі швидкістю 34 Мбіт/с і вище) і синхронних транспортних модулів STM-N (рис. 14).

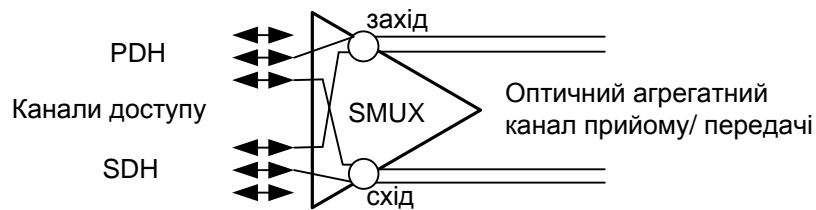


Рис. 14. Мультиплексор введення/виведення в режимі внутрішнього комутатора

Такі комутатори прийнято позначати SDXC n/m , де n - номер віртуального вхідного контейнера, а m - максимальний номер віртуального контейнера, що комутуються. Іноді замість максимального значення m вказують весь набір віртуальних контейнерів, що комутуються: $m/p/q$.

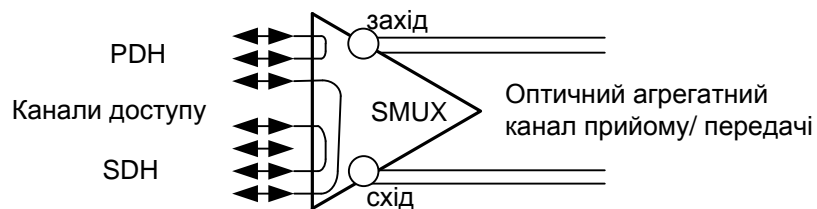


Рис. 15. Мультиплексор введення/виведення в режимі локального комутатора

Комутатори виконують наступні функції (рис.15):

- маршрутизація віртуальних контейнерів за допомогою відповідного заголовка POH;
- об'єднання віртуальних контейнерів;
- трансляція потоку від однієї до декількох точок;
- сортування (перегрупування) віртуальних контейнерів для створення декількох впорядкованих потоків з вхідного;
- доступ до віртуального контейнера для тестування устаткування;
- введення/виведення віртуальних контейнерів у режимі мультиплексора введення/виведення.

3.2. Топологія мереж SDH

Для рішення конкретних задач з описаних вище модулів будують окремі елементи мережі SDH.

3.2.1. «Точка-точка»

З'єднання вузлів А і В за допомогою термінальних мультиплексорів є найбільш простим прикладом організації мережі SDH (рис. 16). Основний і резервний (електричні чи оптичні) агрегатні виходи формують систему резервування типу 1 + 1. При відмові основного каналу мережа автоматично переходить на резервний.

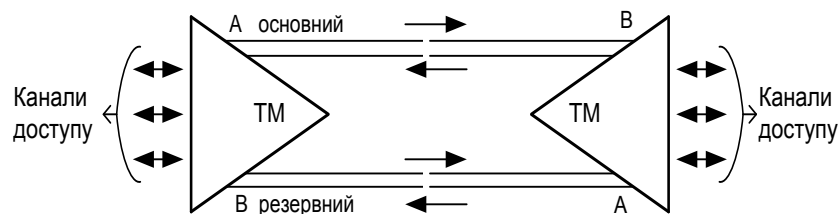


Рис. 16. Топологія «точка-точка», реалізована з використанням ТМ

Завдяки своїй простоті саме ця топологія широко використовується при передачі великих потоків даних високошвидкісних магістральних каналів (наприклад, по трансокеанським підводним кабелям). Її застосовують при переході до більш високих швидкостей - 2,5 і 10 Гбіт/с в якості «радіусів» у мережі з «радіально-кільцевою» топологією і як основу для топології «лінійний ланцюг». Топологію «точка-точка» з резервуванням можна розглядати і як спрощений варіант топології «кільце».

3.2.2. «Лінійний ланцюг»

Застосовується, якщо інтенсивність трафіка мережі невелика, і в ряді точок лінії необхідно зробити відгалуження для введення і виведення каналів доступу. Вона реалізується при використанні як термінальних мультиплексорів, так і мультиплексорів введення/виведення. Ця топологія нагадує лінійний ланцюг, що складається з окремих ланок мультиплексорів введення/виведення. Для неї можливе з'єднання без резервування (рис. 17) і з резервуванням типу 1 + 1 (рис. 18). Останній варіант іноді називають «плоске кільце».

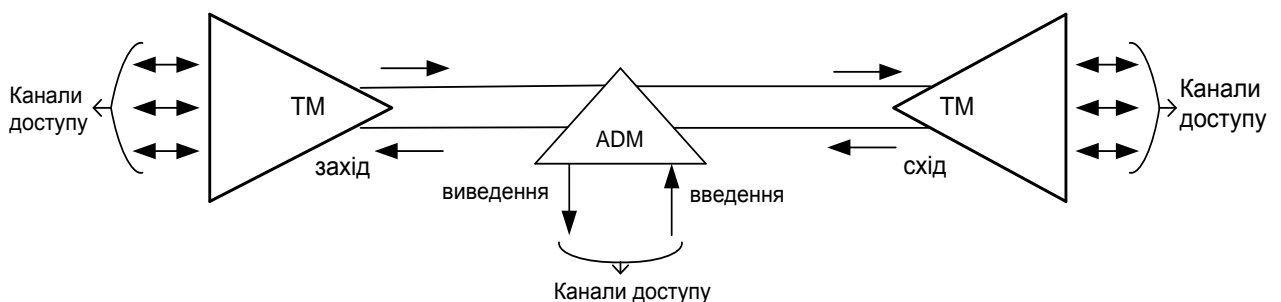


Рис.17. Топологія « лінійного ланцюга», яка реалізована з використанням ТМ і ADM

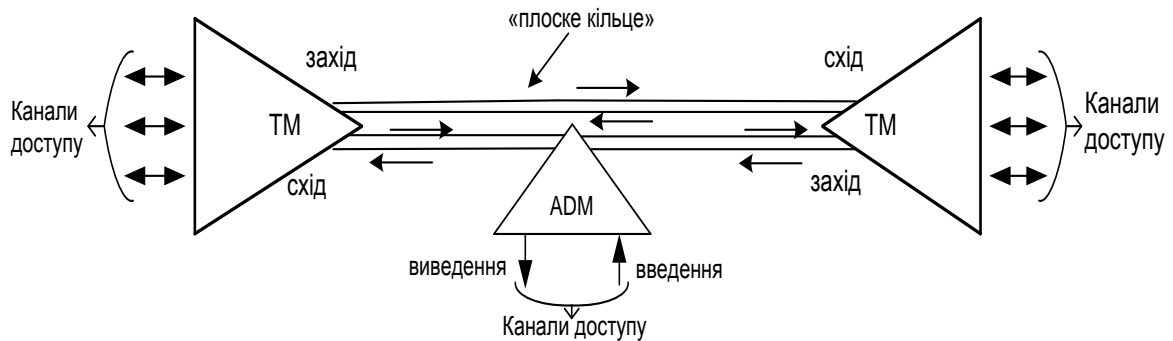


Рис.18. Топологія « лінійного ланцюга» із захистом 1:1 типу «плоске кільце»

3.2.3. «Зірка»

У цій топології один з вилучених вузлів мережі, зв'язаний з центром комутації (наприклад, цифрова АТС) чи вузлом мережі SDH на центральному кільці, відіграє роль концентратора, у якого частина трафіка виведена, наприклад, на термінали користувачів, а канали, що залишилися, розподілені по інших вилучених вузлах (рис. 19). Очевидно, що такий концентратор повинен бути активним і інтелектуальним (у термінології локальних мереж), іншими словами, необхідно, щоб він мав властивості мультиплексора введення/виведення з розвинутими можливостями крос-комутації. Концентратор, на вході якого подаються частково заповнені потоки STM- N-1 чи STM-N, а вихід також відповідає STM-N, називають оптичним.

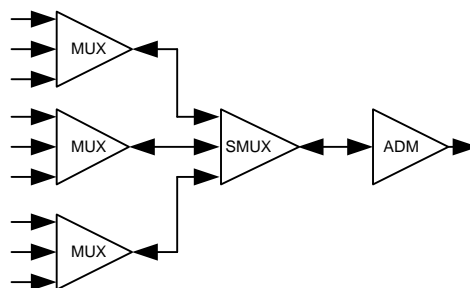


Рис. 19. Топологія типу «зірка» з використанням концентратора як центральний вузол

3.2.4. «Кільце»

Ця топологія широко використовується для побудови мереж SDH перших рівнів (зі швидкостями 155 і 622 Мбіт/с). Її основна перевага - легкість організації захисту типу 1 + 1 завдяки наявності в мультиплексорах SMUX двох оптичних агрегатних виходів, що дозволяють зформувати подвійне кільце з зустрічними потоками (показані стрілками на рис. 20). Організувати систему захисту можна двома способами. Суть першого способу полягає в тому, що блоки віртуальні контейнери TU-n, передаються одночасно в двох протилежних напрямках по різних кільцях. Якщо в момент прийому блоку відбувається збій в одному з кілець, система керування автоматично вибирає цей же блок з іншого кільця.

Другий спосіб захисту припускає можливість переключення з «основного» кільця на «резервне». Спочатку блоки TU-n мають доступ тільки до основного кільця. У випадку збою відбувається замикання основного і резервного кілець на границях дефектної ділянки (рис. 21а), тобто приймач і передавач агрегатного блоку з'єднуються на відповідній стороні

мультиплексора. Так утвориться нове кільце. Сучасні програми керування мультиплексорами звичайно підтримують обидва методи захисту.

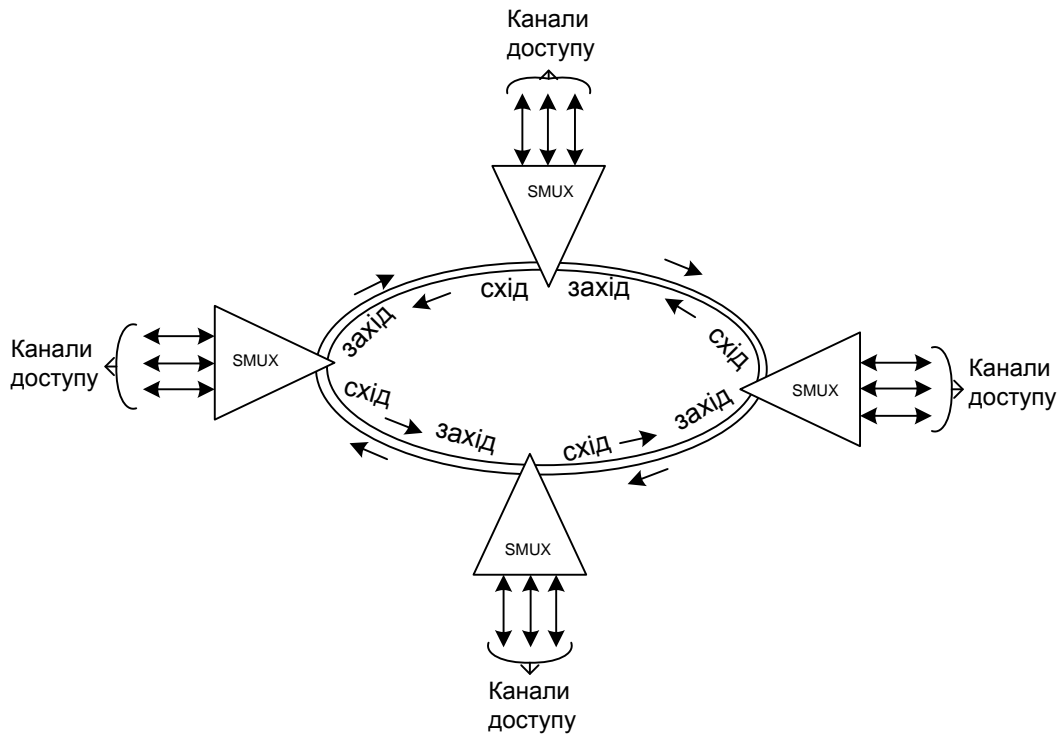


Рис.20. Топологія «кільця» із захистом 1:1 на рівні трибу тарних блоків TU- n

Системи керування мультиплексорів SDH здатні сформувати й обхідний шлях, по якому потік агрегатних блоків може «пройти», минаючи мультиплексор, що відмовив (рис. 21б).

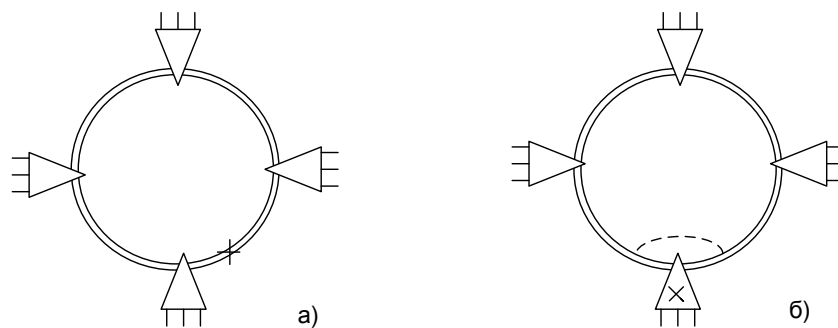


Рис. 21. Методи захисту подвійного кільця:
 а) виключенням ушкодженої ділянки;
 б) організацією обхідного шляху

3.3. Архітектура мереж SDH

Архітектура мережі SDH використовує описані вище топології як окремі сегменти. Розглянемо тільки мережі, побудовані на найбільш часто застосовуваному сполученні «кільцевої» і «радіальної» чи «лінійної» топологій.

3.3.1. «Радіально-кільцева» архітектура мережі SDH, показана на рис. 22, фактично побудована на базі кільцевої і лінійної топологій. Замість лінійної може бути використана і топологія «точка-точка». Число радіальних гілок залежить від навантаження (числа каналів доступу) на кільце.

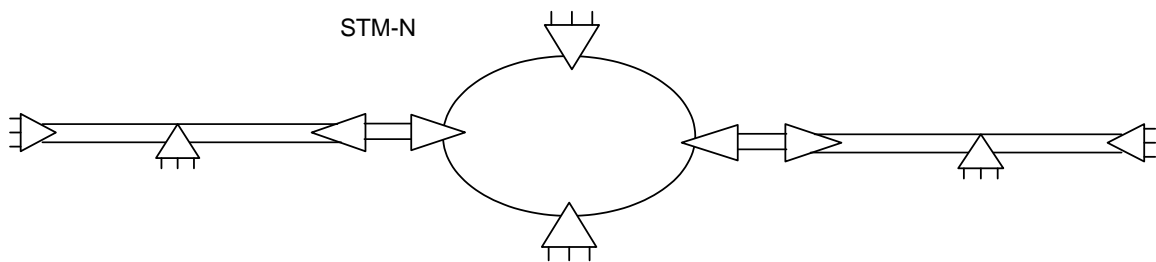


Рис.22. Радіально-кільцева мережа SDH

3.3.2. «Кільце-кільце»

Ще одне часто використовуване в архітектурі мережі SDH сполучення топологій. Необхідно зазначити, що кільця тут можуть належати одному чи різним рівням. На рис. 23 показане з'єднання двох кілець одного рівня STM-4 за допомогою інтерфейсних карт STM-1, а на рис. 24 - каскадне з'єднання трьох кілець зростаючих рівнів STM-1 - STM-4 - STM-16. При такому з'єднанні припустимо використовувати оптичні трибутарні модулі (n-1)-го рівня при переході від одного рівня до іншого (модуль STM-1 при переході на кільце STM-4 і STM-4переході на кільце STM-16).

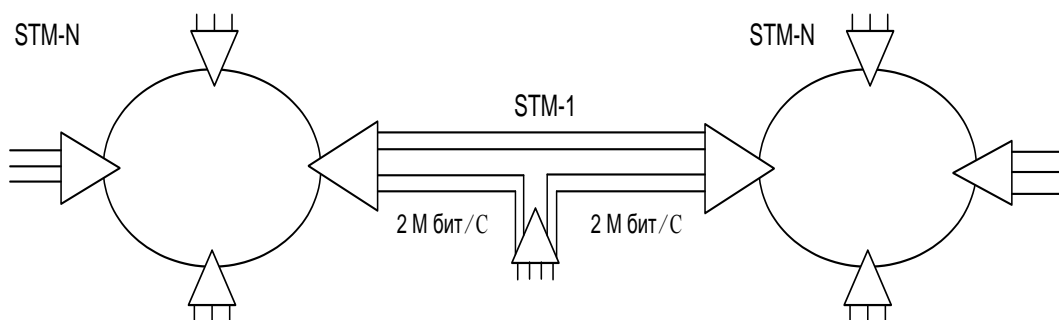


Рис. 23. Схема з'єднання двох кілець одного рівня (STM-4) за допомогою інтерфейсних карт

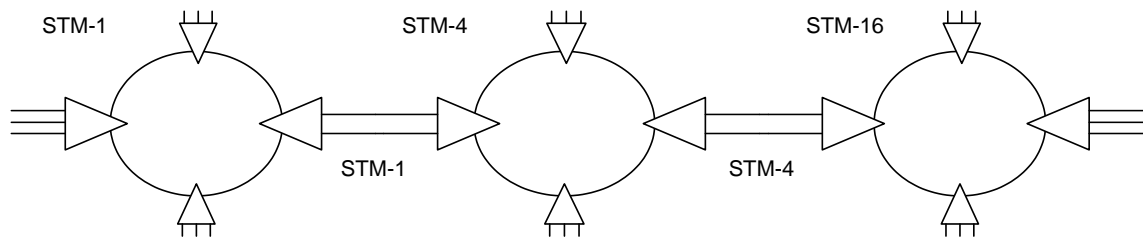


Рис. 24. Каскадне з'єднання кілець різного рівня (STM-1 - STM-4 - STM-16) за допомогою оптичних модулів

3.3.3. Мережі великої довжини.

У лінійних трактах мереж для відновлення сигналу звичайно встановлюють регенератори там, де відстань між термінальними мультиплексорами перевищує припустиме з погляду загасання сигналу у волоконно-оптичному кабелі. Мережу можна представити у вигляді послідовного з'єднання ряду секцій. Розрізняють оптичні секції (від точки електронно-оптичного до точки оптоелектронного перетворення), що по суті є ділянками волоконно-оптичного кабелю між елементами SDH мережі (на схемі рис. 25 не показані), регенераційні секції і мультиплексні секції.

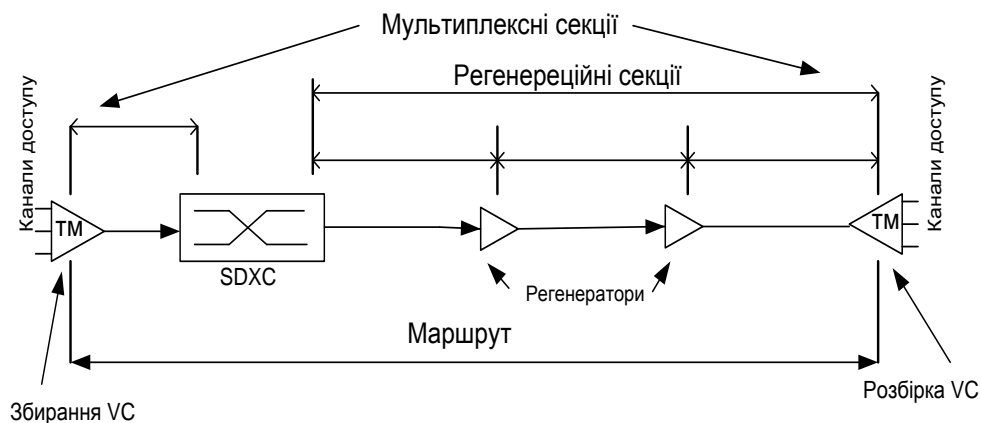


Рис. 25. Мережа SDH великої довжини зі зв'язком типу «точка-точка» і її сегментація

Існує, як говорилося вище, три категорії довжин оптичних секцій: I - внутрішньостанційні (до 2 км), S - короткі міжстанційні (до 15 км) і L - довгі міжстанційні секції (до 40 км при довжині хвилі 1310 нм і 60 км при довжині хвилі 1550 нм). Загальна довжина маршруту може складати при цьому сотні і тисячі кілометрів. Маршрут - це ділянка тракту між термінальними мультиплексорами. Мультиплексною секцією називається ділянка тракту між транспортними вузлами (мультиплексорами і комутаторами). Регенераційна секція розглядається як ділянка тракту між двома регенераторами чи між регенератором та іншим елементом мережі SDH. Усі три ділянки допускають автоматичне підтримування функціонування мережі з номінальною продуктивністю. Для подібних визначень використовуються еталонні точки А (вхід/вихід волокна) і С (вхід/вихід закінчень RST регенераційної секції).

Секційний заголовок SDH кадру STM, що містить керуючу інформацію, поділяється на дві частини: заголовок RSOH регенераційної секції, що займає 27 байт (стовпці 1 - 9, рядки 1 - 3) і заголовок MSOH мультиплексної секції, його розмір - 47 байт (стовпці 1 - 9, рядки 5 - 9). Регенераційна секція обробляє RSOH, що включає синхросигнал, керуючу і контрольну інформацію, що дозволяє локалізувати пошкоджену секцію. Цей заголовок, будучи

зформованим і введеним в кадр на вхід RST, зчитується кожним регенератором і виводиться з кадру на виході RST.

3.3.4. Розгалужені мережі загального вигляду.

В міру свого розвитку мережі SDH стали використовувати рішення, характерні для глобальних мереж. Наприклад, «кістяк» (backbone) і магістральна комірчата (mesh) структура, дозволяють провести віртуальні контейнери по альтернативному (резервному) шляху у випадку виникнення проблем при маршрутизації по основній магістралі. Разом із внутрішнім резервуванням це підвищує надійність усієї мережі в цілому. На рис. 26 представлена архітектура такої розгалуженої мережі, основний каркас якої зформований у вигляді одного мережного осередку, вузлами якої є комутатори типу SDXC, зв'язані «кожний з кожним». До кістяка приєднані різні периферійні мережі SDH: корпоративні (з виходом на локальні мережі), загальноміські мережі SDH, чи сегменти інших глобальних мереж. Подібну структуру можна розглядати і як транспортну мережу ATM (Asynchronous Transfer Mode), оскільки віртуальний контейнер, наприклад VC-4, може нести в упакованому вигляді потік осередків ATM як робоче навантаження.

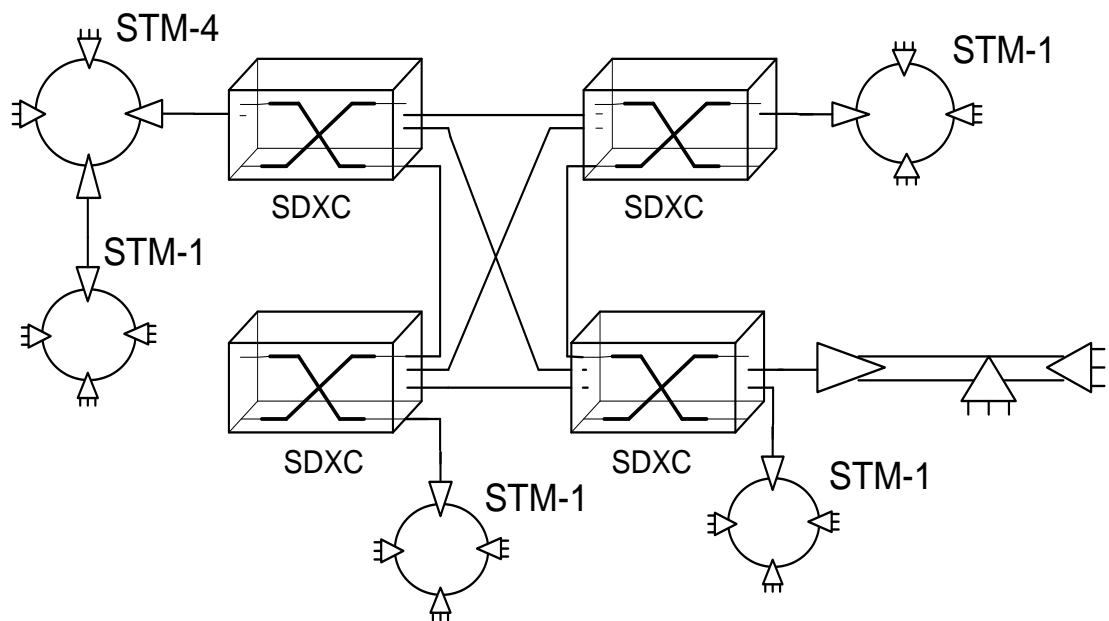


Рис. 26. Розгалужена мережа SDH з касадно-кільцевою і комірчатою структурою

4. ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМ SDH

4.1 Загальні положення

Як впливає з вищевикладеного мережі SDH - це заснована на міжнародних стандартах система транспортування цифрових сигналів, що підтримує як традиційні, так і нові служби зв'язку. Вона виконує функції передачі, оперативного переключення, контролю і керування і містить апаратні і програмні засоби, що забезпечують ці функції. Досягнутий у світі рівень розробки SDH забезпечує можливість її використання на всіх ділянках мережі.

Найважливішою для практики особливістю SDH є її система контролю і керування (обслуговування), що дозволяє створювати й ефективно експлуатувати цілі мережі різних конфігурацій (лінійні, розгалужені, кільцеві та ін.). Максимальний ефект від SDH досягається при організації мереж з високими вимогами до економічності, надійності і якості зв'язку, для виконання яких потрібні мережний контроль і керування з резервуванням, оперативним переключенням, введенням/виведенням потоків інформації в проміжних пунктах і автоматичному обслуговуванні.

Споживачами мережі SDH можуть бути різні мережі PDH чи кінцеві користувачі. Сигнали споживачів транспортуються по мережі SDH як навантаження віртуальних контейнерів. Заголовки цих контейнерів використовуються системою обслуговування для забезпечення збереження навантаження в межах мережі SDH. Якщо ж споживачі підключаються до мережі SDH лініями PDH, то контроль повного зв'язку засобами SDH стає неможливим. Тому доцільно наближення засобів SDH до споживачів з ланцюгом прямого введення сигналу кожного споживача (наприклад, первинних цифрових трактів PDH 2 Мбіт/с) сигнал SDH і розміщення його в окремому віртуальному контейнері. Для цього варто створювати SDH-мережі доступу, що надалі замінять мережі PDH. Взаємодія мережі SDH з ЦСП європейської PDH можливо на рівнях 2, 34 і 140 Мбіт/с. На рівні 34 Мбіт/с при цій операції приходиться використовувати віртуальний контейнер VC-3 з об'ємом 50 Мбіт/с, заповнюючи третину його баластом. При введенні трьох VC-3 в VC-4 (і далі в STM-1) обидві останні структури будуть нести по три потоки 34 Мбіт/с замість можливих чотирьох. Вигідніше спочатку об'єднати чотири потоки 34 Мбіт/с і потім 140 Мбіт/с, і далі ввести останній у VC-4 (і потім в STM-1). При цьому в PDH на рівні 140 Мбіт/с ми не маємо контролю і керування сигналом 34 Мбіт/с, що маємо в VC-4 і STM-1. Можна також дробити сигнали 34 Мбіт/с до 2 Мбіт/с. Отже, як правило, взаємодія SDH/PDH найбільше доцільна на рівнях 2 і 140 Мбіт/с. Однак в існуючій апаратурі SDH найчастіше організується взаємодія на рівнях 2 і 34 Мбіт/с.

Взаємодія мережі SDH з діючою телефонною мережею забезпечується після перетворення аналогових сигналів ТЧ у потік 2 Мбіт/с. У вузлах і станціях телефонної мережі таке перетворення може виконувати апаратура ІКМ-30 і електронні АТС, що широко застосовуються в країні й оснащені потрібними інтерфейсами. Можливе використання апаратури АЦО-4D-60 і АЦО-4D-300, що забезпечують взаємодію АЦП К-60 і К-300 з апаратурою PDH ІКМ-120 і ІКМ-480 (8 і 34 Мбіт/с).

Можливе пряме включення в мережу SDH кінцевих користувачів, що мають швидкості передачі нижче 2 Мбіт/с і навіть аналогових. Така SDH-апаратура, що забезпечує включення ряду видів абонентських терміналів телефонних, передачі даних і інших вже є у вигляді гнучких мультимплексорів типів ENE-6062, T-130 та ін.

4.2. Апаратура SDH

На відміну від PDH, де апаратура вузько спеціалізувалася для перетворення, передачі, оперативного переключення або інших функцій, апаратура SDH багатофункціональна. Усі види устаткування, що випускається різними фірмами, SDH виконують функції передачі по лінії, контролю і управління, більшість з них мають функції перетворення, автоматичного переключення і т.д. Тому нижчеописаний поділ апаратури SDH по типах є умовним.

Основним типом апаратури SDH є СМ. Він виконує функції перетворення, оперативного переключення, введення/виведення цифрових потоків і передачі/прийому з лінії. Крім того, він бере участь у функціях конфігурування і контролю мережі. Відповідно до вищого рівня синхронних транспортних модулів, що обробляє СМ, розрізняють СМ-1, СМ-4, СМ-16 і СМ-254.

Мультиплексори першого рівня утворюють мережі доступу. Вони формують із сигналів споживачів сигнали STM-1, що або використовуються в якості лінійних, або по внутрішньостанційних зв'язках подаються в СМ-4 чи СМ-16 для подальших перетворень.

Мультиплексори вищих рівнів працюють на більш завантажених ділянках мережі, наприклад, магістралях. Вони сприймають сигнали STM-1 і PDH-сигнали 140 Мбіт/с і формують з них нові STM-N.

Мультиплексори всіх зазначених видів звичайно можуть працювати в якості кінцевих (КМ) введення/виведення (МВВ) і мають вбудовану АОП.

Другий розповсюджений тип апаратури SDH - автономна АОП. Її функції - переключення цифрових потоків і передача по лінії. Крім того, АОП є шлюзом між мережами SDH і PDH, тобто виконує і функції СМ. Можливі комбінації функцій АОП різних рівнів SDH і PDH.

Третій тип апаратури - лінійний регенератор SDH. Він виконує більш складні функції, чим у PDH (глибокий контроль вірності передачі, обробка заголовків RSON, зв'язок зі споживачами і системою обслуговування).

Хоча лінійні регенератори стандартизовані рекомендаціями МСЕ-Т, перспектива їхнього широкого поширення сумнівна. На розвинутих мережах відстані між вузлами складають кілька десятків кілометрів, що вже зараз виключає проміжну регенерацію. З використанням кінцевих оптичних підсилювачів досягається довжина секцій регенерації 250-300 км, достатня на більшості ділянок усіх мереж зв'язку. Ці підсилювачі розроблені рядом фірм. Як станційні регенератори на мережах SDH використовують СМ, що транслюють між секціями регенерації не весь сигнал STM-N, а тільки VC-4.

Специфічним для SDH є головний пристрій (Element Manager) системи обслуговування. Його задача - контроль і керування всіма мережними елементами SDH (у тому числі реконфігурація мережі і кожного мережного елемента). Мережними елементами є СМ, АОП і регенератори, з якими Element Manager зв'язується по каналам, вбудованим у заголовки STM-N, VC-n чи по локальній мережі (наприклад, Ethernet). Після створення загальномережної системи обслуговування TMN остання повинна буде взяти на себе функції Element Manager.

Апаратура SDH обладнана електричними й оптичними зовнішніми інтерфейсами.

1. Оптичні інтерфейси забезпечують функції обміну сигналами STM-1, STM-4, STM-16 між об'єктами мережі SDH. Ці інтерфейси нормуються по 18 категоріям застосувань Рек. G. 957.

2. Електричні інтерфейси по Рек. G. 703 обслуговують зв'язки всередині об'єктів (вузлів, станцій) по сигналам PDH і STM-1.

3. Інтерфейси типу Q_x, Q₃ по Рек. G. 773 використовуються для зв'язку з головним пристроєм системи обслуговування по локальній мережі даного об'єкта.

4. Інтерфейси типу F (наприклад, RS-232) використовуються для зв'язку з місцевим контрольно-керуючим пристроєм (комп'ютером).

5. Інтерфейси синхронізації по Рек. G. 703 забезпечують передачу і прийом синхросигналів.

Рис. 27 пояснює взаємодію основних типів апаратури SDH. У верхній його частині показані швидкості передачі різних рівнів PDH, нижче - SDH, а між ними - основні типи

апаратури SDH, що виконують відповідні перетворення. Праворуч внизу показані Element Manager і один з регенераторів.

На даному малюнку CM-1 обробляє передбачені стандартами SDH потоки європейської ієрархії PDH. Реальна апаратура, як правило, сприймає тільки деякі з них. Режим MBV відрізняється від режиму OM додаванням другого порту STM-N, що показано на рис. у всіх CM. Показаний тільки один тип АОП - для обробки VC-4. На практиці ця апаратура може мати багато різновидів.

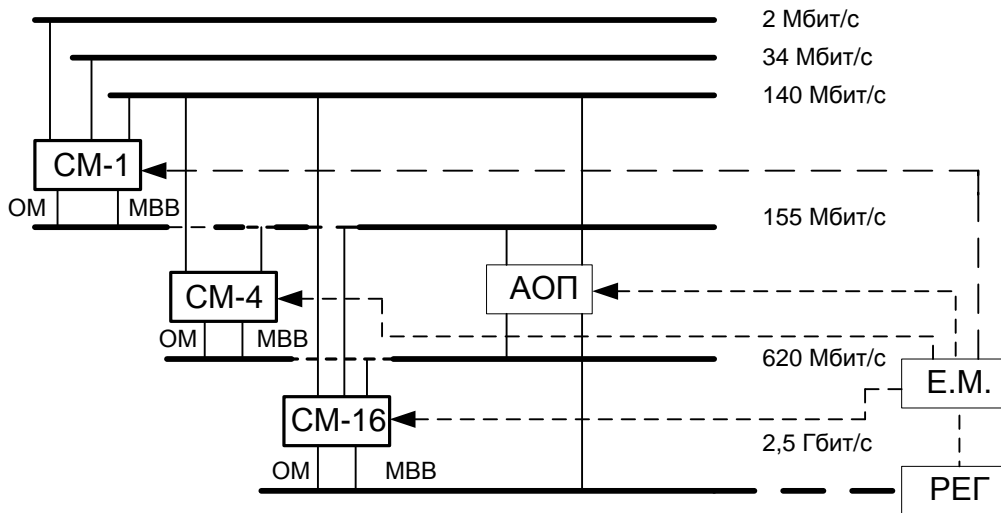


Рис.27. Основні типи апаратури SDH

Конкретний перелік апаратури SDH повинен визначатися мережним оператором на основі реальних пропозицій постачальників.

4.3. Застосування SDH на зонових мережах

Хоча транспортні здібності вже першого рівня SDH (155 Мбіт/с) здавалося б велике для зонових (внутрішньозонових і місцевих) мереж, однак принципи SDH дозволяють ефективно використовувати її і тут. Згадана швидкість передачі визначає лише межу пропускну здатності ліній, що у складних мережах можуть нести навантаження від багатьох станцій, забезпечуючи мережне резервування.

Основними споживчими потоками в зонових мережах і мережах доступу первинних цифрових трактів (ПЦТ) є потоки 2 Мбіт/с, з яких формуються VC-4. Для підвищення надійності тракти STM-1 часто з'єднують у кільця за допомогою мультиплексорів введення/виведення MBV-1.

На рис. 28 показана найпростіша кільцева мережа з трьома вузлами, оснащена MBV-1 і обробленими ПЦТ. Кожен вузол цієї мережі може вводити/виводити від 1 до 63 ПЦТ (прикладі приведені на схемі). Число оброблюваних ПЦТ визначає лише кількість інтерфейсних плат ПЦГ у MBV. Граничне число ПЦТ у будь-якому перетині кільця - 63.

Подібні схеми застосовують і на великих МТС. Сучасні АТС зв'язуються трактами 2 Мбіт/с, надійна керована мережа обміну якими може бути побудована на апаратурі SDH.

Зонові SDH-мережі можуть обслуговувати PDH-мережі, транспортуючи ПЦТ 2 Мбіт/с. При використанні асинхронного розміщення, майже винятково реалізованого в усій апаратурі SDH, що випускається, мережа SDH зберігає середню тактову частоту ПЦТ.

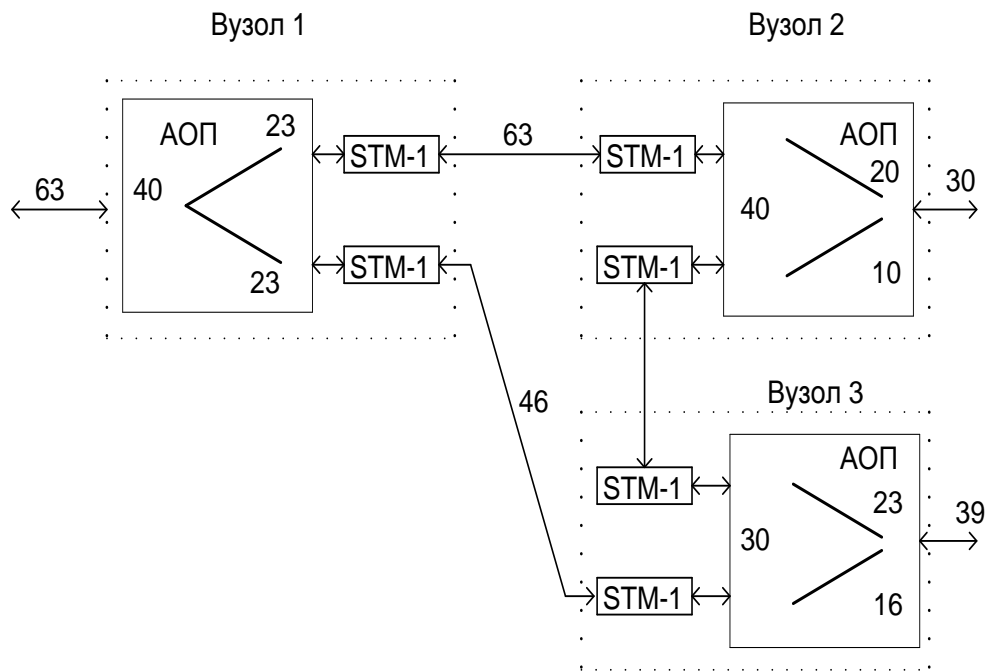


Рис. 28. Кільцева мережа з МВВ-1

Зберігаються і можливості побудови синхронних мереж комутації. У Додатку 1 приведений перелік апаратури SDH ведучих фірм, що у наш час впроваджується на мережі зв'язку України.

5. ВИКОРИСТАННЯ ЗАСОБІВ ЗВ'ЯЗКУ SDH

5.1 Доцільність використання засобів SDH

Конфігурація проєктованої мережі, вигляд PDH і SDH - трактів, їх кількість, необхідність оперативного переключення і керування мережею забезпечуються можливостями SDH і дозволяють використовувати значну кількість її переваг.

5.2 Оптичні інтерфейси і типи волоконних кабелів

Оптичні інтерфейси SDH-апаратури мережі повинні відповідати категоріям Рек. G. 957. При використанні зазначених інтерфейсів, типів волокон і довжин хвиль у мережі не потрібні лінійні регенератори. Кількість волокон у кабелі залежить від використовуваного рівня SDH і системи резервування.

5.3. Параметри оптичних стиків

Параметри оптичних стиків визначаються в точках Пд (S) і Пр (R) відповідно до рис.29.

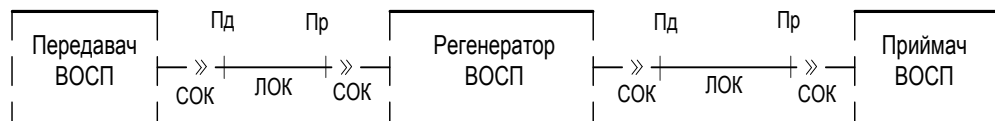


Рис. 29. Параметри оптичних стиків

Параметри оптичних стиків визначаються для лінійного сигналу в бінарному коді без повернення до нуля.

Основними параметрами оптичних стиків є:

- робочий діапазон довжин хвиль джерела випромінювання;
- тип джерела випромінювання;
- спектральні характеристики;
- рівень випромінюваної потужності;
- коефіцієнт загасання;
- характеристики оптичного сигналу на передачі;
- діапазон загасання, що перекривається;
- сумарна дисперсія;
- загасання відбиття кабельного устаткування;
- коефіцієнт дискретного відбиття між точками Пд і Пр;
- рівень чутливості приймача;
- рівень перевантаження приймального пристрою;
- додаткові втрати оптичного тракту;
- коефіцієнт відбиття приймача;
- фазове тремтіння оптичного сигналу на передачі;
- припустиме фазове тремтіння оптичного сигналу на вході приймача;
- коефіцієнт передачі фазового тремтіння.

5.4. Використовуваний рівень SDH і система резервування

Перший рівень SDH (STM-1, лінійна швидкість 155 Мбіт/с) дозволяє організувати лінійний тракт, що несе 63 ПЦТ по парі волокон. ПЦТ можуть програмно і дистанційно контролюватися і переключатися на станціях мережі. Однак система обслуговування кожного лінійного тракту охоплює тільки 63 ПЦТ даної пари волокон.

Апаратура четвертого рівня (STM-4, лінійна швидкість 622 Мбіт/с створює по парі волокон 4 тракту по 63 ПЦТ у кожному. Можливе оперативне переключення будь-якого ПЦТ

на кожне з 252 місць цього ансамблю. У даній мережі досить одного тракту STM-4 (два волокна в будь-якому перетині кільця).

У SDH є кілька видів автоматичного резервування, що гарантує задану якість зв'язку.

Найбільш ощадлива і зручна для кільцевої мережі система резервування 1:1. У цьому випадку на кожній станції сигнал ПЦТ, призначений для деякої іншої станції, направляється до цієї станції відразу по обох напрямках передачі кільця, а на прийомі автоматично вибирається найкращий сигнал із двох. Ця система гарантує збереження заданої кількості ПЦТ між станціями, але в лінії кожен такий зв'язок займає вдвічі більше число трактів. Дана система може застосовуватися не по всій мережі, а тільки для тих зв'язків, що вимагають такої якості зв'язку. При використанні її для станцій на лініях відгалуження ці лінії повинні бути продубльовані.

Можна і не використовувати кільцеві переваги SDH і зв'язувати станції фіксованою кількістю ПЦТ по різних сторонах кільця зі зниженням якості зв'язку (кількості ПЦТ) на час аварій. Це знижує потребу в ПЦТ, однак зменшує й ефективність витрат на закупівлю сучасної апаратури SDH.

Остаточні рішення за рівнем SDH, системі резервування числу волокон може бути прийняте на основі конкретних даних по вартості апаратури і кабеля з урахуванням вимог з надійності і якості зв'язку.

Примітка. В апаратурі SDH часто є додаткові можливості резервування трактів ПЦТ і плат апаратури (наприклад, по системі 1: N), що не впливають на загальну схему мережі і тут не розглядаються, але можуть бути враховані при прийнятті остаточних рішень по вищевказаних питаннях.

5.5. Сумісність з мережею зв'язку України

5.5.1. Варто використовувати SDH-апаратуру, що відповідає вимогам "Регламенту SDH для мережі зв'язку України". Оскільки цей Регламент ще не затверджений, нижче перераховані основні вимоги, що забезпечують сумісність для даної мережі.

5.5.2. Схема перетворень повинна відповідати основному варіанту мережної взаємодії Рек. G.709 (із застосуванням AU-4) і реалізовувати наступний шлях перетворень для сигналу 2048 Кбіт/с: C-12/VC-12/TU-12/TUG-2/TUG-3/VC-4/AU-4/AUG/STM-N.

5.5.3. Апаратура повинна виконувати асинхронне введення ПЦТ, що забезпечує взаємодію з існуючою апаратурою ІКМ-30 і комутаційною апаратурою, оснащеними стандартними стилями 2 Мбіт/с згідно Рек. G. 703.

5.5.4. Апаратура повинна відповідати загальним кліматичним, механічним вимогам, вимогам електроживлення та ін., запропонованим до апаратури України, що діють.

5.6. Типи SDH-апаратури для мережі

Апаратура першого рівня SDH випускається багатьма фірмами. Мультиплексори SMS-150V, SMS-600V і SMS-2500A є невід'ємною частиною сімейства устаткування GPT і NEC синхронної цифрової ієрархії (SDH). У конструкції відображуються технологічні нововведення, що підтримують міжнародні вимоги стандартів SDH, і нові вимоги до телекомунікаційних мереж.

1) SMS-150V групує трибутарні сигнали 2,048 Мбіт/с, 34,368 Мбіт/с в агрегатний синхронний сигнал STM-1.

Керування, контроль, конфігурування й обслуговування мультиплексора здійснюється з місцевого терміналу обслуговування (LCT) чи дистанційно через систему керування мережею (NMS).

Особливості:

- підтримує мережу з двоволоконним кільцем, що переключається, самовідновлюється, з резервуванням шляху (SNC-P);
- гнучка архітектура виробу допускає взаємозамінність блоків складових сигналів (тобто для блоків 2 Мбіт/с і 34 Мбіт/с можуть використовуватися ті самі місця полиці);
- додана підтримка нових мережних архітектур (місцевий крос-коннект);
- підтримка функції TSI на рівнях VC-12, VC-3;
- сумісність з новими версіями SDH стандартів ITU-T (раніше CCIT) і ETSI;
- низьке споживання потужності обумовлене застосуванням СВІС;
- підтримка інтерфейсу керування Qnx і Qess.

Технічні дані:

1) Параметри

Швидкість передачі	STM-1
Імовірність помилки	$<1 \times 10^{-10}$

Типи складових сигналів	2,048 Мбіт/с 34,368 Мбіт/с STM-1 (єл.) VC-12, VC-3
-------------------------	---

Рівень TSI

2) Інтерфейси

Оптичний STM-1

Швидкість передачі	155,520 Мбіт/с ± 20 ppm
Тип волокна	ITU-T G.707, G.958 ITU-T табл. 1/G.957 I-1 1260-1360 нм L-1.1: 1270-1345 нм L-1.2: 1480-1580 нм

Електричний STM-1

Швидкість передачі	155,520 Мбіт/с ± 20 ppm
Хвильовий опір	75 Ом (несиметр.)
Код	СМІ
Форма імпульсу	ITU-T табл. 11/G.703 рис. 25/G.703

34 Мбіт/с

Швидкість передачі	34,368 Мбіт/с ± 20 ppm
Хвильовий опір	75 Ом (несиметр.)
Код	HDB3
Форма імпульсу	ITU-T табл. 8/G.703 рис. 17/G.703

2 Мбіт/с

Швидкість передачі	2,048 Мбіт/с ± 50 ppm
Хвильовий опір	75 Ом (несиметр.) 120 Ом (симетр.)
Код	HDB3
Форма імпульсу	ITU-T табл. 6/G.703 рис. 15/G.703

<i>Синхронізація</i>	
Зовнішній вхід	2,048 МГц чи 2,048 Мбіт/с (опція)
Джерело синхронізації	будь-який агрегатний Кожної (на вибір) 2Мбіт/с трибутарний сигнал
Зовнішній вихід	2,048 МГц чи 2,048 Мбіт/с (опція)
<i>Інтерфейси заголовку</i>	
Швидкість передачі	64 Кбіт/с, 576 Кбіт/с ITU-T V.11 співнаправлений
<i>Інтерфейс LCT</i>	
Швидкість передачі	4800 біт/с E1A RS-232D
<i>Інтерфейс NMS</i>	AUI
<i>Аварійна сигналізація</i>	
Основні типи аварій	Термінова аварія, відкладена аварія, віддалена аварія, стан обслуговування

Включення дзвінка і світлової сигналізації (AB/AL)

Сигналізація стану приміщень

Вхідна логіка (що обирається), вісім портів:

Тип	Норма	Аварія
1	Розімкнуто	Земля
2	Земля	Розімкнуто

Контроль стану приміщень

Вихідна логіка (що обирається), вісім портів (максимальний струм 0,5 А):

Тип	Норма	Аварія
1	Розімкнуто	Земля
2	Земля	Розімкнуто

- 3) Вимоги до живлення** -48 В ± 20%
(від -38,4 В до -57,6 В)
-60В ±20%
(від -48 В до -72 В)

**4) Вимоги до
навколишнього
середовища**

Температура від -5°C до +45° C
Вологість 95% при 35° C

5) Габарити

Стійка 600 мм x 300 мм x 2200мм
Полиця 450 мм x 280 мм x 473 мм

2) SMS-600V групує трибутарні сигнали 2,048 Мбіт/с, 34,368 Мбіт/с, 139,264 Мбіт/с і синхронний сигнал STM-1 в агрегатні синхронні сигнали STM-1 (155,520 Мбіт/с) чи STM-4 (622,080 Мбіт/с).

Керування, контроль, конфігурування та обслуговування мультиплексора здійснюється з місцевого терміналу обслуговування (LCT) чи дистанційно через систему керування мережею (NMS).

Особливості:

- підтримує мережу з двоволоконним кільцем, що переключається, самовідновлюється, з резервуванням шляху (SNC-P);
- підтримує 2/4-волоконне мультиплексування кільця з спільним використанням секцій (MS-SPRing);
- використання модулів STM-1 і STM-4 для агрегатних сигналів в одній і тій ж полиці;
- можливе використання 504x2 Мбіт/с потоків (з використанням полиці розширення);
- додана підтримка нових мережних архітектур;
- підтримка функції TSI;
- сумісність з новими версіями SDN стандартів ІТУ-Т (раніше CCIT) і ETSI;
- мале споживання потужності, обумовлене застосуванням СВІС;
- підтримка інтерфейсу керування Qnx і Qess.

1) Параметри

Швидкість передачі STM-1, STM-4
Імовірність помилки $<1 \times 10^{-10}$

Типи складових сигналів 2,048 Мбіт/с,
34,368 Мбіт/с,
139,264 Мбіт/с,
STM-1(опт.),STM-1(ел.)і
STM-4
VC-12, VC-3, VC-4

Рівень TSI

2) Інтерфейси

Оптичний STM-4

Швидкість передачі 622,080 Мбіт/с
Тип волокна ІТУ-Т G.707, G.958
Довжина хвилі ІТУ-Т табл. 1/G.957
L-4: 1260-1360 нм
L-4.1: 1280-1335 нм
L-4.2: 1480-1580 нм

Оптичний STM-1

Швидкість передачі	155,520 Мбіт/с
Тип волокна	ITU-T G.707, G.958
Довжина хвилі	ITU-T табл. 1/G.957 L-1: 1260-1360 нм L-1.1: 1270-1345 нм L-1.2: 1480-1580 нм

Електричний STM-1

Швидкість передачі	155,520 Мбіт/с \pm 20 _{ppm}
Хвильовий опір	75 Ом (несиметр.)
Код	СМІ
Форма імпульсу	ITU-T табл. 11/G.703 рис. 25/G.703

140 Мбіт/с

Швидкість передачі	139,264 Мбіт/с \pm 20 _{ppm}
Хвильовий опір	75 Ом (несиметр.)
Код	СМІ
Форма імпульсу	ITU-T табл. 11/G.703 рис. 25/ G.703

34 Мбіт/с

Швидкість передачі	34,3688 Мбіт/с \pm 20 _{ppm}
Хвильовий опір	75 Ом (несиметр.)
Код	СМІ
Форма імпульсу	ITU-T табл. 8/G.703 рис. 17/ G.703

2 Мбіт/с

Швидкість передачі	2 Мбіт/с \pm 20 _{ppm}
Хвильовий опір	75 Ом (несиметр.) 120 Ом (симетр.)
Код	HDB3
Форма імпульсу	ITU-T табл. 6/G.703 рис. 15/ G.703

Форма імпульсу	ITU-T табл. 6/G.703 рис. 15/ G.703
----------------	---------------------------------------

Синхронізація

Зовнішній вхід	2,048 МГц чи 2,048 Мбіт/с (опції)
Джерело синхронізації	будь-який агрегатний сигнал STM-n (n= 1÷4)
Зовнішній вихід	2,048 МГц чи 2,048 Мбіт/с (опції)
Синхронізація	
Зовнішній вхід	2,048 МГц чи 2,048 Мбіт/с (опції)
Джерело синхронізації	любий(на вибір) Мбіт/с трибутарний сигнал 2,048
Зовнішній вихід	2,048 МГц чи 2,048 Мбіт/с (опції)

Інтерфейси заголовку	
Швидкість передачі	64 Кбіт/с, 576 Кбіт/с
Інтерфейс LCT	ITU-T V.11 співнаправлений
Швидкість передачі	4800 біт/с: EIA RS232D
Інтерфейс NMS	AUI
Аварійна сигналізація	
Основні типи аварій	Термінова аварія, відкладена аварія, віддалена аварія, стан обслуговування
Включення дзвінка і світлової сигналізації (AB/AL)	

Сигналізація стану приміщень

Вхідна логіка (що обирається), вісім портів:

Тип	Норма	Аварія
1	Розімкнуто	Земля
2	Земля	Розімкнуто

Контроль стану приміщень

Вихідна логіка (що обирається), вісім портів (максимальний струм 0,1 А):

Тип	Норма	Аварія
1	Розімкнуто	Земля
2	Земля	Розімкнуто

3) Вимоги до живлення

-48 В ± 20%
(від -38,4В до -57,6В)
-60В ± 20%
(від -48В до -72В)

4) Вимоги до навколишнього середовища

Температура від -5⁰С до +45⁰С
Вологість 95% при 35⁰С

5) Габарити

Стояк (600x300x2200)мм
Полиця (498x280x498)мм
Полиця розширення (438,2x268x798)мм

3) SMS-2500A групує трибутарні сигнали (139264 Мбіт/с, синхронні сигнали, STM-1 з оптичним і електричним інтерфейсами і синхронні сигнали STM-4) у агрегатні синхронні сигнали STM-16.

Керування, контроль, конфігурування й обслуговування мультиплексора здійснюється з місцевого терміналу обслуговування (LCT) чи дистанційно через систему керування мережі (NMS).

Особливості:

- підтримує 2/4-волоконне мультиплексоване кільце зі спільним використанням секцій (MS-SPRing);
- для високошвидкісної і середньошвидкісної частин агрегатного сигнал а використовуються роздільні полиці;
- максимальна ємність введення/виведення складає 200% (2xSTM-16);

- додана підтримка нових мережних архітектур;
- підтримка функції TSI;
- застосування різних інтерфейсних модулів;
- сумісність з новими версіями SDH стандартів ІТУ-Т (раніше ССІТ)

і ETSI;

- низьке споживання потужності, обумовлене застосуванням комплектуючих останніх розробок фірми NEC;
- підтримка інтерфейсу керування Qnx і Qess

1) Параметри

<i>Агрегатний сигнал</i>	STM-16 139,264 Мбіт/с,
<i>Типи складових сигналів</i>	STM-1 (опт.) STM-1 (ел.) і STM-4 (опт.)

Максимальна ємність введення/ виведення:

140 Мбіт/с	32
STM-1 (ел.)	32
STM-1 (опт.)	16
STM-1 (опт.)	8
<i>Рівень T8I</i>	VC-4

2) Інтерфейси

Оптичний STM-16

Швидкість передачі	2488,320 Мбіт/с
Тип волокна	ІТУ-Т G.707, G.958 ІТУ-Т табл.1/G.957
Довжина хвилі	L-16.1: 1280-1335 нм L-16.2: 1530-1570 нм L-16.3: 1530-1570 нм

Оптичний STM-4

Швидкість передачі	622,080 Мбіт/с
--------------------	----------------

Тип волокна

ІТУ-Т G.707,G.958
ІТУ-Т табл.1/G.957

Довжина хвилі

L-4.1: 1260-1360 нм
L-4.1: 1280-1335 нм
L-4.2:1480-1580,нм

Оптичний STM-1

Швидкість передачі	155, 520 Мбіт/с
Тип волокна	ІТУ-Т G.707, G.958 ІТУ-Т табл. 1/G.957
Довжина хвилі	1-1: 1260-1360 нм L-1.2: 1480-1580 нм

Електричний STM-1

Швидкість передачі

Хвильовий опір

Код

Форма імпульсу

155,520 Мбіт/с \pm 20_{ppm}

75 Ом (несиметр.)

СМІ

ITU-Табл. 11/G. 703

рис. 25/G.703

140Мбітс

Швидкість передачі

Хвильове опір

Код

Форма імпульсу

139,264 Мбіт/с \pm 15_{ppm}

75 Ом (несиметр.)

СМІ

ITU-Табл. 9/G.703

рис. 19, 20/G.703

Синхронізація Зовнішній вхід

Зовнішній вихід

Інтерфейси заголовка Швидкість
передачі Інтерфейс LCT

2,048 МГц чи 2,048 Мбіт/с
(опція)

2,048 МГц чи 2,048 Мбіт/с
(опція)

ITU-T V. 11 співнаправлений

64 Кбіт/с, 576 Кбіт/с

ITU-T V. 11 співнаправлений

EIA RS-232C

10Base 2

Аварійна сигналізація

Основні типи аварій

Термінова аварія, відкладена аварія, віддалена аварія, стан обслуговування

Включення дзвінка і світлової сигналізації (АВ/АЛ)

Сигналізація стану приміщень

Вхідна логіка (що обирається), вісім портів:

Тип	Норма	Аварія
1	Розімкнуто	Земля
2	Земля	Розімкнуто

Контроль стану приміщенні

Вихідна логіка (що обирається), вісім портів (максимальний струм 0,1 А):

Тип	Норма	Аварія
1	Розімкнуто	Земля
2	Земля	Розімкнуто

3) Вимоги до живлення

-48 В ± 20%
(від -38,4 В до -57,6 В)
-60 В ± 20%
(від -48 В до -72 В)

4) Вимоги до навколишнього середовища

Температура

Від -5°C до +45°C

Вологість

95% при 35° С

5) Габарити

Стояк

(600 x 300 x 2200) мм

Полиця (HS)

(498 x 280 x 625) мм

Полиця (HS)

(498,2 x 280 x 475) мм

ЧАСТИНА II

Розділ 1. Технологія WDM

1. Відмінності WDM та TDM

Сучасна мережа SDH, побудована на базі TDM, дійшовши до швидкості передавання 10 Гбіт/с, зіштовхнулася з проблемами хроматичної та поляризаційної дисперсії моди, котрі на швидкості, вищій від 10 Гбіт/с, починають суттєво впливати на якість передачі. Таким чином, розширення пропускної здатності за допомогою TDM виявляється досить проблематичним.

У технології WDM немає багатьох обмежень і ускладнень, властивих технології TDM. Для підвищення пропускної здатності ліній зв'язку замість збільшення швидкості передачі у оптичному каналі, як це

робиться в системах TDM, в системах WDM йдуть шляхом збільшення числа каналів (котрі передаються на різних довжинах хвиль), що застосовуються у системах передачі.

Для систем WDM є неважливим формат даних, що передається у груповому сигналі. На відміну від SDH сигнал, що транспортується в груповому потоці WDM систем, не піддається пакуванню в контейнери, тому в груповому потоці WDM можна безпосередньо передавати різномірний за форматом трафік. Спрощено це можна зобразити, наприклад, таким чином:

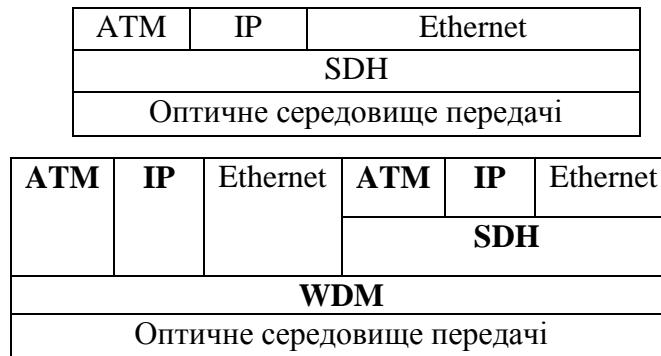


Рисунок 1.1

Відмінність WDM від TDM, котрі реалізуються в сучасних SDH системах, можна також проілюструвати наступним рисунком:

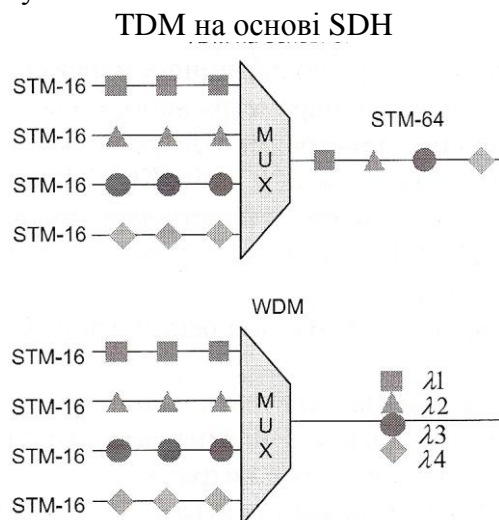


Рисунок 1.2

Тобто, TDM стає додатком до WDM.

Технологія WDM дозволяє суттєво збільшити пропускну здатність лінії зв'язку, дає можливість організувати двосторонню передачу даних по одному волокну, причому нарощування пропускну здатності може відбуватись на вже існуючому волоконно-оптичному кабелі.

У системі WDM сигнали різних довжин хвиль, що генеруються одним або декількома оптичними передавачами, поєднуються мультиплексором у багаточастотний груповий оптичний сигнал, що поширюється далі по одномодовому ОВ. За великої довжини волоконно-оптичної лінії зв'язку в ній встановлюється один WDM або кілька оптичних підсилювачів (ОП). Демультиплексор виділяє з групового оптичного сигналу початкові частотні канали і направляє їх на відповідні фотоприймачі. На проміжних вузлах у лінії або мережі зв'язку деякі оптичні канали можуть бути додані або виділені з групового оптичного сигналу за допомогою оптичних мультиплексорів введення/виведення (OADM)

1.1. Технологія DWDM та CWDM

Технологія WDM широко розповсюджена в світі у вигляді двох основних типів систем:

- Системи з щільним спектральним розділенням каналів DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing)
- Системи з нещільним (грубим) спектральним розділенням каналів CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplexing)

Зараз існують системи WDM як на великі відстані Long Haul (для магістральних ВОЛЗ) так і міські, внутрішньозонові Metro WDM системи.

Технологія CWDM знаходить більш широке застосування на міських мережах, завдяки меншим витратам на її введення, зокрема, тому що не потребує застосування оптичних підсилювачів (окрім випадків, коли потрібна 3R регенерація сигналу) та завдяки меншій ємності.

Рознесення каналів для сучасних DWDM становить 100 ГГц або -0,8 нм. Для CWDM розділення каналів здійснюється на значно більшій частотній відстані 2500 ГГц або -20 нм.

Приклади спектра групового потоку для 4-канальної CWDM системи та 32-канальної DWDM системи (на спектрах вказано також спектр каналу OSC, що знаходиться окремо від основного групового потоку):

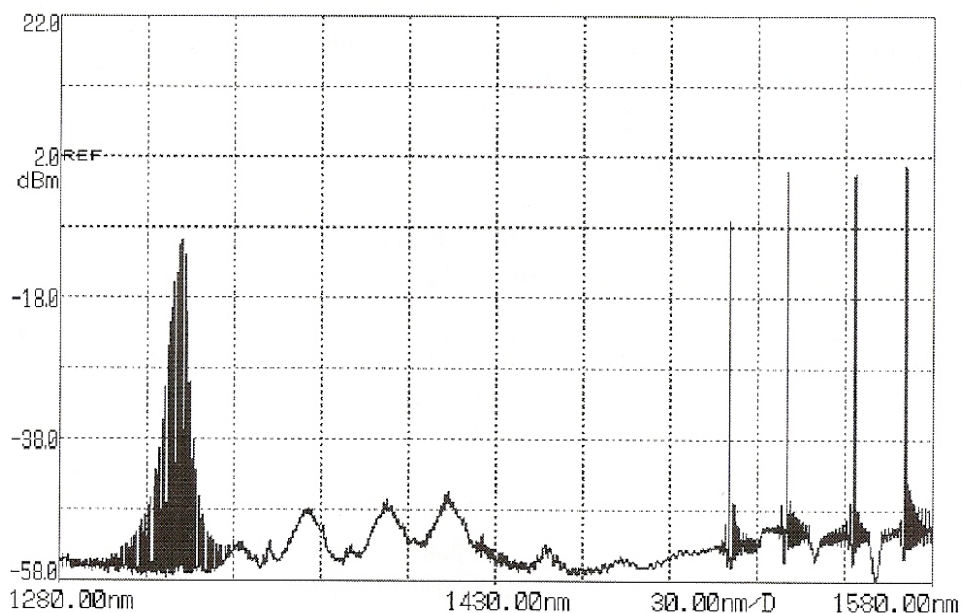


Рисунок 1.3 а) Приклад спектра лінійного сигналу системи CWDM

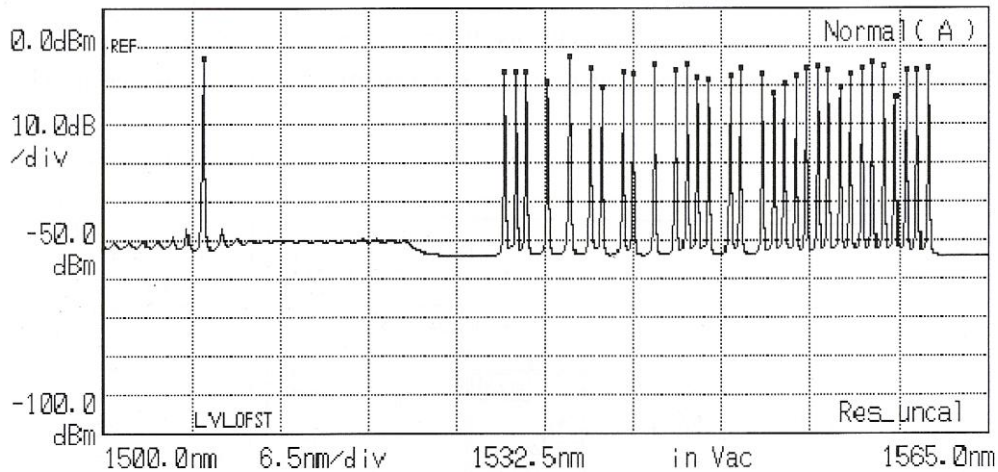


Рисунок 1.3 б) Приклад спектра лінійного сигналу системи DWDM.

З появою оптичних підсилювачів та оптичних мультиплексорів введення/виведення OADM (Optical Add/Drop Multiplexer), котрі дають можливість маршрутизації, з'являються повністю оптичні транспортні мережі (OTM) - OTN (Optical Transport Networking).

В системах WDM застосовують цілком визначені діапазони довжин хвиль оптичного випромінювання, котрі стандартизовані ITU (рекомендації G.694.1 та G.694.2)

Номінальні центральні довжини хвиль, з рознесенням 20 нм Для сітки WDM згідно з G.694.2					
1271	1331	1391	1451	1511	1571
1291	1351	1411	1471	1531	1591
1311	1371	1431	1491	1551	1611

Для DWDM, з різною величиною рознесення центральних довжин хвиль за частотою, використовують формули:

Для рознесення 12,5 ГГц: $193.1 + n \times 0.0125$ (де n ціле додатне число, включно з 0)

Для рознесення 25 ГГц: $193.1 + n \times 0.025$ (де n ціле додатне число, включно з 0)

Для рознесення 50 ГГц: $193.1 + n \times 0.05$ (де n ціле додатне число, включно з 0)

Для рознесення 100 ГГц: $193.1 + n \times 0.1$ (де n ціле додатне число, включно з 0)

Власне саму DWDM технологію поділяють на DWDM та HDWDM (High Dense Wavelength Division Multiplexing - надщільне спектральне мультиплексування), за частотним рознесенням каналів це виглядає, як показано в таблиці.

Для C та L діапазонів таблиця матиме вигляд, згідно з G.694.1:

Номінальні центральні частоти для рознесення каналів				Номінальні центральні довжини хвиль, нм
HDWDM		DWDM		
12.5 ГГц	25 ГГц	50 ГГц	100 ГГц	
C – діапазон				
195.9375	-	-	-	1530.04
195.9250	195.925	-	-	1530.14
195.9125	-	-	-	1530.24
195.9000	195.900	195.90	195.9	1530.33
195.8875	-	-	-	1530.43

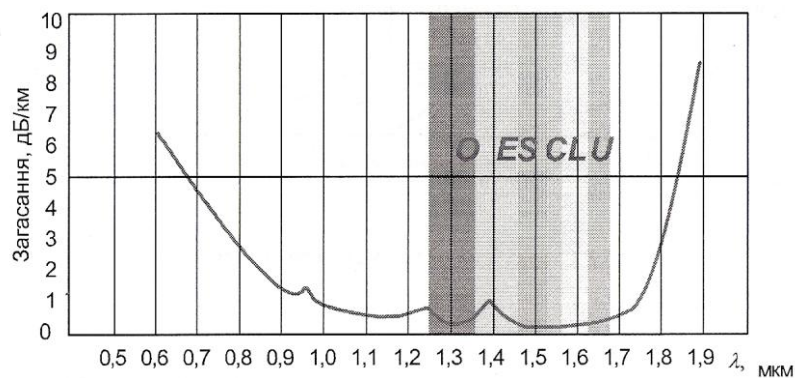
Номінальні центральні частоти для рознесення каналів				Номінальні центральні довжини хвиль, нм
HDWDM			DWDM	
12.5 ГГц	25 ГГц	50 ГГц	100 ГГц	
195.8750	195.875	-	-	1530.53
195.8625	-	-	-	1530.63
195.8500	195.850	195.85	-	1530.72
195.8375	-	-	-	1530.82
195.8250	195.825	-	-	1530.92
195.8125	-	-	-	1531.02
195.8000	195.800	195.80	195.8	1531.12
195.7875	-	-	-	1531.21
195.7750	195.775	-	-	1531.31
195.7625	-	-	-	1531.41
195.7500	195.750	195.75	-	1531.51
195.7375	—	-	-	1531.60
195.7250	195.725	-	-	1531.70
195.7125	-	-	-	1531.80
195.7000	195.700	195.70	195.7	1531.90
195.6875	-	-	-	1532.00
195.6750	195.675	-	-	1532.09
195.6625	-	-	-	1532.19
193.2375	-	-	-	1551.42
193.2250	193.225	-	-	1551.52
193.2125	-	-	-	1551.62
193.2000	193.200	193.20	193.2	1551.72
193.1875	-	-	-	1551.82
193.1750	193.175	-	-	1551.92
193.1625	-	-	-	1552.02
193.1500	193.150	193.15	-	1552.12
193.1375	-	-	-	1552.22
193.1250	193.125	-	-	1552.32
193.1125	-	-	-	1552.42
193.1000	193.100	193.10	193.1	1552.52
193.0875	-	-	-	1552.62
193.0750	193.075	-	-	1552.73

193.0625	-	-	-	1552.83
193.0500	193.050	193.05	-	1552.93
193.0375	-	-	-	1553.03
193.0250	193.025	-	-	1553.13
193.0125	-	-	-	1553.23
193.0000	193.000	193.00	193.0	1553.33
192.9875	-	-	-	1553.43
192.9750	192.975	-	-	1553.53
192.9625	-	-	-	1553.63
L -діапазон				
184.7750	184.775	-	-	1622.47
184.7625	-	-	-	1622.58
184.7500	184.750	184.75	-	1622.69
184.7375	-	-	-	1622.80
184.7250	184.725	-	-	1622.91
184.7125	-	-	-	1623.02
184.7000	184.700	184.70	184.7	1623.13
184.6875	-	-	-	1623.24
184.6750	184.675	-	-	1623.35
184.6625	-	-	-	1623.46
184.6500	184.650	184.65	-	1623.57
184.6375	-	-	-	1623.68
184.6250	184.625	-	-	1623.79
184.6125	-	-	-	1623.90
184.6000	184.600	184.60	184.6	1624.01
184.5875	-	-	-	1624.12
184.5750	184.575	-	-	1624.23
184.5625	-	-	-	1624.34
184.5500	184.550	184.55	-	1624.45
184.5375	-	-	-	1624.56
184.5250	184.525	-	-	1624.67
184.5125	-	-	-	1624.78
184.5000	184.500	184.50	184.5	1624.89

В таблиці 5.1 роз'яснення ІТУ G.Sup.39 вказані границі оптичних діапазонів для одномодового волокна, котре використовується для функціонування WDM.

Смуга	Назва	Діапазон (нм)
O	Original	1260 ÷ 1360
E	Extended	1360 ÷ 1460
S	Short wave length	1460 ÷ 1530
C	Conventional	1530 ÷ 1565
L	Long wave length	1565 ÷ 1625
U	Ultra long wave length	1625 ÷ 1675

Це також показано рисунком 1.4, де зображена спектральна залежність погонних втрат потужності оптичного сигналу в одномодовому волокні.



Багато сучасних DWDM систем використовують С-діапазон, котрий відповідає максимальному підсилению волоконних оптичних підсилювачів, легованих іонами ербію.

В С-діапазоні можна використовувати до 80 оптичних каналів. Для того щоб уникнути втрат, внаслідок нелінійної взаємодії оптичних каналів, а також дотриматись санітарних норм (при підвищеній потужності лазерного випромінення будуть потрібні спеціальні захисні пристрої для забезпечення лазерної безпеки), сумарна потужність у оптичному волокні не повинна перевищувати 100 мВт (20 дБм). Це обмежує потужність на один оптичний канал. Так, для 80 каналної системи рівень потужності на канал складає 1 дБм; для 40 каналної 4 дБм; для 32 каналної 5 дБм. Таким чином, на кожній підсилювальній ділянці 32 канална система має запас 1 дБ порівняно з 40 каналною системою та 4 дБ порівняно з 80 каналною, а значить, і довжина підсилювальної ділянки для 32 каналної системи буде більшою.

1.3 Реалізація WDM систем

При проектуванні мереж WDM передбачають такі етапи:

- Визначення пропускної спроможності окремих оптичних каналів
- Вибір типу волокна для оптичного кабелю ВОЛЗ
- Вибір типу оптичних підсилювачів та визначення довжини підсилювальних ділянок
- Визначення типу топології, архітектури та структури мережі

При проектуванні систем WDM потрібно мати на увазі, що придатність існуючого волокна може бути проблематичною, внаслідок менш досконалої технології, котра застосовувалась за його виготовлення та монтажу. При цьому потрібно надавати суттєву увагу таким параметрам:

- Втрати в лінійному тракті (втрати у волокні, втрати на з'єднаннях, втрати на вигинах пов'язані з процесом виготовлення волокна та його прокладанням)
- Хроматична дисперсія (виникає внаслідок кінцевої ширини спектральної лінії джерела випромінення, що призводить до різних групових швидкостей розповсюдження спектральних складових імпульсу, і як наслідок до викривлення форми імпульсу. Хроматична дисперсія впливає на граничну величину максимальної швидкості передавання, оскільки при більший

швидкості між імпульсами корисного сигналу стає меншим інтервал і збільшується ймовірність появи помилок в прийомі сигналу внаслідок хроматичної дисперсії)

- Поляризаційна дисперсія моди (ПДМ) (виникає внаслідок різної швидкості розповсюдження по волокну різних поляризаційних складових напрямлюваної моди, що призводить до зміни форми

імпульсу, збільшення його тривалості в часі).

- Перехресні завади у волокні (з'являються внаслідок нелінійних явищ у волокні, наприклад, чотирихвильового змішування, або внаслідок розбалансування та нестиківки елементів систем WDM.

- Нелінійні явища (збільшуються зі зростанням оптичної потужності у волокні, виникають внаслідок залежності показника заломлення волокна від оптичної потужності, та внаслідок розсіювання у волокні (Раманівське розсіювання та розсіювання Мандельштама-Брілюена))

- Чутливість до відхилення від несівної довжини хвилі (як наслідок, явище інтерференції може призвести до збільшення відбиття на з'єднаннях).

У відповідності до рекомендації G.692, WDM системи позначають наступним чином:

B-nWx-y.z

Тут знак **B** означає двонапрявленість системи (відсутній для однонаправлених систем) Знак **n** вказує на кількість робочих хвиль (каналів системи)

Знак **W** вказує на робочу відстань передавання системи. Відповідно бувають:

- L long-haul (80 км), довгої протяжності
- V very long-haul (120 км), високої протяжності
- U ultra long-haul (160 км), понад довгої протяжності

Знак **x** вказує на максимальну кількість регенераційних ділянок (дорівнює 1 для систем без підсилювачів і не вказується)

Знак **y** вказує максимальну швидкість транспортного модуля STM, що вводиться в систему WDM (відповідно дорівнює 4; 16; 64)

Знак **z** вказує тип волокна, на якому працює система:

- 2 для волокна за G.652
- 3 для волокна за G.653
- 5 для волокна за G.655

Загальний спрощений вигляд WDM систем та рекомендації ІТУ, котрі описують інтерфейси і параметри відповідних елементів системи, включно з їх контрольними точками, показано на рисунку 1.5, опис контрольних точок надано в таблиці до рисунка.

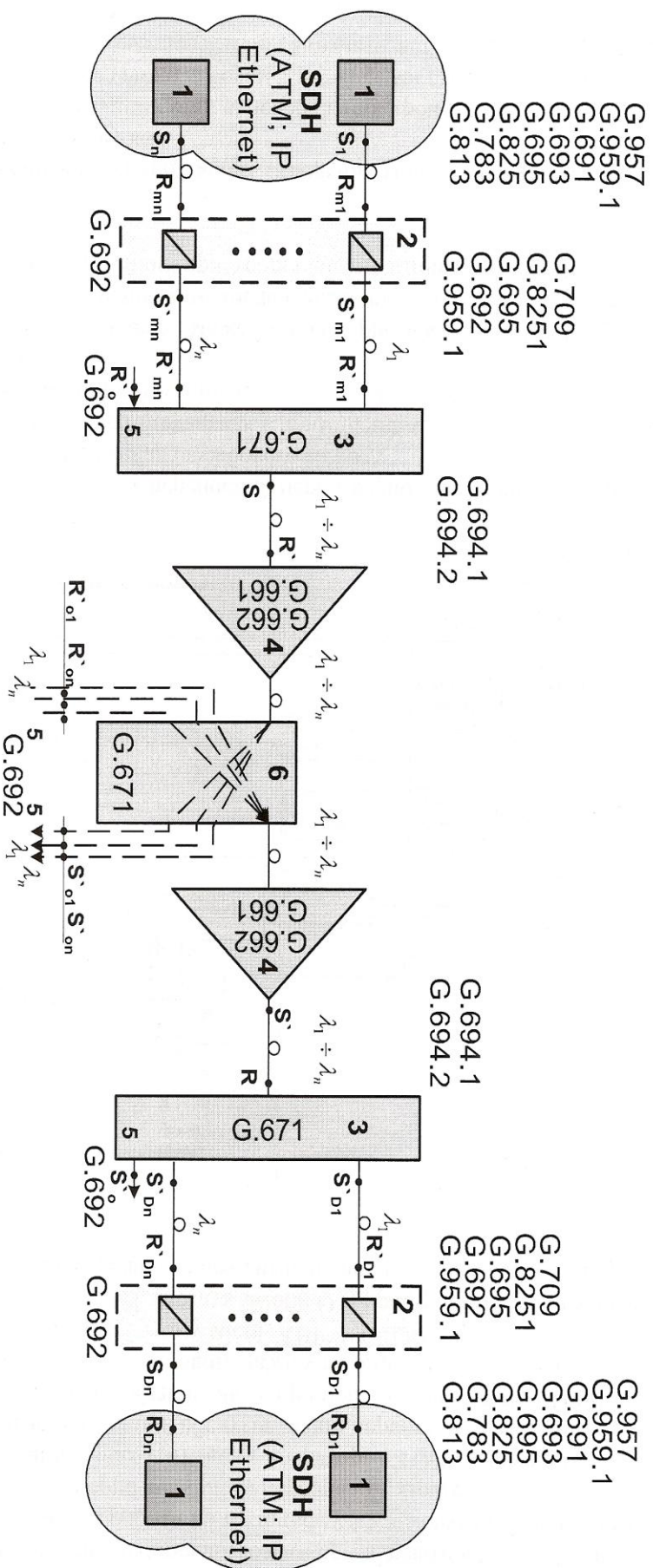


Рисунок. 2.5 Контрольні точки у відповідності до п. 5.2 рекомендацій G.692, G.695, G.696.1 (Draft), G.698.1 (Draft), G.959.1 та доповнення II рекомендації G.959.1, і додатка "Г" ГСТУ 45.017-2001

Контрольні точки.

$S_1 - S_n$	Контрольні точки на оптичному волокні безпосередньо на виході оптичних з'єднувачів мультиплексорів SDH для каналів 1...П відповідно.
$R_{m1} - R_{mn}$	Контрольні точки на оптичному волокні безпосередньо на вході оптичних з'єднувачів перед транспондером для каналів 1...П відповідно.
$S'_{m1} - S'_{mn}$	Контрольні точки на оптичному волокні безпосередньо на виході оптичних з'єднувачів після транспондера для каналів 1...п відповідно.
$R'_{m1} - R'_{mn}$	Контрольні точки на оптичному волокні безпосередньо на вході оптичних з'єднувачів перед мультиплексором WDM.
$R'o$	Контрольна точка на оптичному волокні безпосередньо на вході оптичного з'єднувача перед мультиплексором WDM для каналу OSC.
S	Контрольна точка на оптичному волокні безпосередньо на виході оптичного з'єднувача після мультиплексора WDM.
R'	Контрольна точка на оптичному волокні безпосередньо на вході оптичного з'єднувача перед оптичним підсилювачем.
S'	Контрольна точка на оптичному волокні безпосередньо на виході оптичного з'єднувача після оптичного підсилювача.
R	Контрольна точка на оптичному волокні безпосередньо на вході оптичного з'єднувача перед демультимплексором WDM.
$S' D1 - S' Dn$	Контрольні точки на оптичному волокні безпосередньо на виході оптичних з'єднувачів після демультимплексора WDM.
$R' D1 - R' Dn$	Контрольні точки на оптичному волокні безпосередньо на вході оптичних з'єднувачів перед транспондером для каналів 1...П відповідно.
$S'o$	Контрольна точка на оптичному волокні безпосередньо на виході оптичного з'єднувача після демультимплексора WDM для каналу OSC.
$SD1 - SDn$	Контрольні точки на оптичному волокні безпосередньо на виході оптичних з'єднувачів після транспондера для каналів 1...П відповідно.
$R' D1 - R' Dn$	Контрольні точки на оптичному волокні безпосередньо на вході оптичних з'єднувачів мультиплексорів SDH для каналів 1...П відповідно.
$R' O1 - R' On$	Контрольні точки на оптичному волокні безпосередньо на вході оптичних з'єднувачів оптичного мультиплексора введення/виведення WDM після транспондера для каналів 1...П відповідно.
$S' O1 - S' On$	Контрольні точки на оптичному волокні безпосередньо на виході оптичних з'єднувачів оптичного мультиплексора введення/виведення WDM перед транспондером для каналів 1...П відповідно.

1.3 Характеристики сучасних WDM систем

На сучасному етапі випускаються WDM системи, здатні задовольнити сучасні потреби по збільшенню ефективності як міських (зонових) так і магістральних ВОСП. Характеристики деяких з таких систем WDM зведено в таблицю:

Характеристики WDM систем

Найменування та тип системи (DWDM або CWDM)	Компанія виробник	Число каналів	Діапазон довжин хвиль	Відстань між сусідніми каналами (в термінах довжин хвиль або частот)	Лінійна швидкість передачі
1626 Light Manager	Alcatel	96(192)	1530-1570 нм	0,4 нм	100Мбіт/с-2,5 Гбіт/с, 10 Гбіт/с
1696 Metro Span	Alcatel	32	1530-1560 нм	0,8 нм	100Мбіт/с-2,5 Гбіт/с, 10 Гбіт/с
1696 Metro Span Compact	Alcatel	8	1530-1560 нм	0,8 нм	ЮОМбіт/с-2,5 Гбіт/с, 10 Гбіт/с
1692 Metro Span Edge	Alcatel	8	1470-1610 нм	20 нм	100Мбіт/с-2,5 Гбіт/с, 10 Гбіт/с
XDM(DWDM) ¹	ECI	80	1529-1561 нм 1570-1603 нм	100 ГГц (0,8 нм)	2,5 Гбіт/с 10 Гбіт/с
XDM(CWDM) ¹	ECI	16	1291-1611нм	2500 ГГц (20 нм)	2,5 Гбіт/с
Common Photonic Layer (CPL) ²	Nortel networks	DWDM -36 DWDM - 72	C -діапазон	100 ГГц 50 ГГц	10 Гбіт/с
OPTera Metro 5200 OPTera Metro 5100	Nortel Networks	DWDM -32 CWDM -8	DWDM C і L 1528,77нм-1605,73 нм CWDM S+C+L 1470-1610 нм	200 ГГц 20нм	10 Гбіт/с 2,5 Гбіт/с
SURPASS 7500	Siemens	До 160	1520:1610 нм	100 ГГц і 50 ГГц	160x10 Гбіт/с
SURPASS 7540	Siemens	До 160	1528,77:1607,47 нм	50 ГГц	12,5 Гбіт/с
SURPASS 7540C	Siemens	До 80	1537,39:1563.86 нм	50 ГГц	2,5 Гбіт/с
FSP 3000 Metro DWDM	Siemens	64/32	1530,33:1602,31 нм	200 ГГц	10 Гбіт/с
SURPASS 7550, DWDM-система	Siemens	160 довжин хвиль 10 Гбіт/с 80 довжин хвиль 40 Гбіт/с	1528,77:1607,47 нм	100 ГГц і 50 ГГц	160 каналів x 10 Гбіт/с 80 каналів x 40 Гбіт/с

Найменування та тип системи (DWDM або CWDM)	Компанія виробник	Число каналів	Діапазон довжин хвиль	Відстань між сусідніми каналами (в термінах хвиль або частот)	Лінійна швидкість передачі
Tellabs 7200 Optical Transport System DWDM-система	Tellabs	32 16	1535,82:1560,61 нм 1536,61:1560,61 нм	100 ГГц	32 (16) каналів x 10 Гбіт/с
Metropolis® WSM DWDM-система CWDM-система	Lucent Technologies	40 20 (CWDM)	1530,33:1561,42 нм 1470:1610 нм (CWDM)	100 ГГц 200 ГГц	40 (20) каналів x (2,5 Гбіт/с) 10 Гбіт/с 8 каналів x 2,5 Гбіт/с (CWDM)
LambdaXtreme™ Transport DWDM-система	Lucent Technologies	128 довжин хвиль 10 Гбіт/с 64 довжин хвиль 40 Гбіт/с	L-діапазон	Відсутні дані	128 каналів x 10 Гбіт/с 40 каналів x 40 Гбіт/с
WaveStar® OLS1.6T	Lucent Technologies	160 довжин хвиль 10 Гбіт/с	Відсутні дані	Відсутні дані	160 каналів x 10 Гбіт/с
SpectraStream 128 CWDM-система	Optelecom	18 довжин хвиль	1270-1450 нм	20 нг	Відсутні дані
Система "ПУСК" DWDM-система	НТО-ИРЭ-Плюс	8 довжин хвиль 10 Гбіт/с (до 160 довжин хвиль)	1530-1605 нм	200 ГГц (до 50 ГГц)	8 каналів x 10 Гбіт/с (до 160 каналів x 10 Гбіт/с)
Система "ПУСК-М" DWDM-система	НТО-ИРЭ-Плюс	12 довжин хвиль 10 Гбіт/с	1548-1562 нм	100 ГГц	12 каналів x 10 Гбіт/с

1) Плати обладнання DWDM вистроюються в лінійку обладнання XDM-400/500/1000/2000, плати обладнання CWDM вистроюються в лінійку обладнання XDM-100/200

2) Обладнання CPL - це оптичне обладнання передачі, котре включає в себе підсилувачі та інші оптичні компоненти. Використовується підстроювана частотно-фазова модуляція (чирпінг), котра може змінюватись в залежності від відстані між транспондерами, типу кабелю, величини нелінійних явищ та ін. Застосування керованої модуляції дозволяє повністю відмовитись від використання модулів компенсації дисперсії

Розділ 2. Структура WDM системи

В структуру WDM систем як правило входять наступні елементи:

2.1 Транспондер

Транспондер (приймопередавач) — призначено для узгодження спектральних параметрів інтерфейсів мультиплексорів SDH, що описані в рекомендаціях G.957, G.691, G.693 із спектральними параметрами WDM мультиплексорів, котрі відповідають рекомендаціям G.692, G.695, G.959.1, окрім цього транспондер здійснює 3R регенерацію.

Деякі компанії випускають транспондери, що можуть визначати наявність помилок і виконувати попередню корекцію помилок (FEC) в структурі даних (описаної в рекомендації G.709) та здійснювати контроль експлуатаційних показників незалежно від типу сигналу, що передається (наприклад SDH або Ethernet), завдяки чому транспондер може використовуватись у оптичних транспортних мережах. Застосування попередньої корекції помилок (FEC)

призводить до невеликого збільшення швидкості передавання (на кілька процентів) та покращує якість отриманих даних за існуючої величини лінійного загасання (або за існуючого коефіцієнта помилок збільшує допустиму величину лінійного загасання).

Транспондер має кількість оптичних входів та виходів, рівну числу оптичних сигналів, які потрібно ущільнити. При цьому, якщо ущільнюється п оптичних сигналів, то на виході транспондера довжина хвилі кожного каналу повинна відповідати лише одній довжині хвилі у відповідності з канальним планом (сіткою частот), наприклад, припустимо для 1-го каналу оптичний сигнал повинен мати довжину хвилі L_1 для другого L_2 і т.д. до L_n . З виходів транспондера ці оптичні сигнали поступають на строго визначені входи оптичного мультиплексора, що відповідають вказаним довжинам хвиль $L_1 \dots L_n$.

Транспондер є обов'язковим елементом WDM систем. Якщо з мультиплексорів SDH подаються на WDM мультиплектор сигнали зі спектральними параметрами, що відповідають рекомендаціям G.692, G.695, G.959.1, то транспондер не потрібен. Параметри інтерфейсів транспондера та сітка частот описані у рекомендаціях G.692, G.695, G.959.1 G.825, G.8251. Основними характеристиками транспондера є наступні параметри:

- Мінімальна чутливість приймача
- Мінімальний рівень перенавантаження приймача
- Максимальне вхідне фазове тремтіння
- Потужність випромінювання
- Форма імпульсу ("око-діаграма")
- Довжина хвилі випромінювання
- Ширина спектральної лінії
- Максимальне власне фазове тремтіння (тремтіння на виході за відсутності тремтіння на вході)
- Характеристика передавання фазового тремтіння
- Максимальний штраф за оптичний шлях

Причому, нормовані значення цих параметрів є різними та описуються у різних рекомендаціях для клієнтської частини транспондера, котра стикується, наприклад, з обладнанням SDH, та для лінійної частини транспондерів, котра стикується з обладнанням WDM.

Транспондер може мати перестроюваний передавач, таким чином його можна настроїти на потрібну довжину хвилі у відповідному робочому діапазоні. Транспондер може виконувати також функції регенератора, при цьому в залежності від апаратної реалізації транспондера може бути потрібно один або два транспондера на канал.

2.2 WDM мультиплексор/демультиплексор

WDM мультиплексор/демультиплексор використовується для об'єднання/роз'єднання в одному оптичному волокні кількох каналів з різним довжинами хвиль. WDM мультиплексори/демультиплексори як і мультиплексор введення/виведення — пасивні оптичні компоненти, описані у рекомендації G.67' (6.51; 6.52; 6.53 /ЕС 61931-1), використовуються для передавання в лінію (прийому ; лінії) групового сигналу з каналами на довжинах хвиль, котрі відповідають рекомендаціям G.694.1, G.694.2.

Оптичні мультиплексори введення/виведення каналів використовують дл? додавання та/або виділення з групового оптичного сигналу певних каналів (на певни) довжинах хвиль).

WDM мультиплексом більшою мірою характеризує направленість (здатність спрямовувати потік в потрібному напрямку), а WDM демультиплексор - ізоляцік каналів (здатність виділення каналів з групового потоку без спотворення в них). Основними характеристиками мультиплексорів/демультиплексорів WDM є наступні параметри:

- Центральна довжина хвилі каналу
- Інтервал між каналами
- Смуга пропускання на рівні 1 та 3 дБ
- Перехідні завади

- Ізоляція каналів
- Направленість
- Варіація потужності в спектрі каналу
- Однорідність каналів
- Втрати, що залежать від поляризації PDL (Polarization Dependent Loss)
- Поляризаційна дисперсія моди
- Внесені втрати
- Втрати на відбиття

Для мультиплексування/демультиплексування використовуються тонкоплівкові фільтри, волоконні брегівські ґратки, дифракційні ґратки, пристрої інтегральної оптики (оптичний еквівалент інтегральних схем в електроніці), розгалужувачі. Оптичний мультиплексор/демультиплексор вносить значні втрати, котрі зменшують енергетичний потенціал системи (максимальна величина втрат в лінії передавання за якої забезпечується заданий коефіцієнт помилок). Тому для їхньої компенсації на виході WDM мультиплексора (а також на вході WDM демультиплексора) встановлюється оптичний підсилювач.

Ефективність мультиплексора/демультиплексора визначається його здатністю ізолювати один від одного вхідні або вихідні канали.

2.3 Оптичний передавач

Передавач є пристроєм для генерації енергії оптичного випромінювання, (лазер; світлодіод). Передавач повинен мати:

- Високу направленість випромінювання (для чого використовують лазери з дифракційними ґратками)
- Високе подавлення бічних мод
- Стабільність довжин хвиль, що передаються
- Потужність, необхідну для компенсації втрат в оптичному кабелі, ще забезпечує прийом сигналів із заданим рівнем коефіцієнта помилок

Параметри передавачів визначені у рекомендаціях G.957, G.691, G.693, G.959.1. Довжини хвиль передавача WDM повинні відповідати рекомендаціям G.694.1, G.694.2. Класифікація лазерів, щодо лазерної безпеки, описана у стандарті ДСТУ ІЕС 60825-1. Час до автоматичного відключення лазера наведена у таблиці III.1/G.664 рекомендації ІТУ G.664.

Найпоширенішими джерелами випромінювання для ВОСП на початку були напівпровідникові СВД (Світловипромінювальні діоди); ЛД (Лазерні діоди). В сучасних ВОСП для підвищення швидкості роботи та дальності передавання використовуються напівпровідникові лазери. Сучасний напівпровідниковий лазер становить собою багатошарову напівпровідникову структуру з розмірами в кілька сотень мікрон з резонатором Фарбі-Перо або системою з розподіленим зворотнім зв'язком (РЗЗ), а також з системами виведення випромінювання, подачі живлення та керування вихідною потужністю (модуляції).

Останнім часом знаходять застосування напівпровідникові лазери з вертикальним (резонатор розташований перпендикулярно площині підложки) резонатором (Vertical Cavity Surface Emitting Lasers - VCSELs), лазерів з розподіленими Брегівськими дзеркалами, котрі утворені двома світловідбиваючими дзеркалами, такі дзеркала називають Брегівськими відбивачами, з великим коефіцієнтом відбиття (аж до 100%), що вносить труднощі їх виробництва, котрі розташовані над та під дуже маленькою областю підсилення (товщиною порядку 20 нм).

На сьогоднішній день VCSEL лазери, довжина хвилі котрих може перестроюватись, знаходять застосування в системах WDM.

2.4 Фотоприймач

Фотоприймач є пристроєм котрий перетворює вхідні оптичні сигнали у електричні та здійснює у такий спосіб їхню демодуляцію. Фотоприймач повинен бути повністю сумісним з передавачем як за спектральною смугою чутливості у межах номінальних довжин хвиль, так і за часовими характеристиками модуляції випромінювання. Окрім

того, фотоприймач повинен мати стійкість до помилок, котрі можуть виникнути в сигналі при проходженні ним інших оптичних компонентів. Параметри фотоприймачів визначені у рекомендаціях G.957, G.691, G.693, G.959.1. Ними є:

- Чутливість (мінімальний рівень вхідної оптичної потужності сигналу за якої забезпечується заданий коефіцієнт помилок)
- Рівень перенавантаження (максимальний рівень вхідної оптичної потужності сигналу за якої забезпечується заданий коефіцієнт помилок)
- Смуга пропускання

2.5 Атенюатори

Атенюатори, що можуть встановлюватись після оптичного передавача, дозволяють зменшувати їхню вихідну потужність до рівня, котрий відповідає можливостям розташованих після них мультиплексорів та підсилювачів. Атенюатори також встановлюють щоб більша потужність сигналу не призводила до нелінійних явищ у оптичному волокні. Атенюатори можуть бути змінними і мати властивості регулювання для вибору загасання потужності (за довжинами хвиль), що часто потрібно для того, щоб "вирівняти" (за рівнем потужності) спектр сигналу на вході в підсилювач. Основні параметри, описані у рекомендації ITU G.671 (1.3.1/IEC60869-1):

- Внесені втрати
- Втрати на відбиття
- Втрати, що залежать від поляризації
- Поляризаційна дисперсія моди

2.6 Комутатори

Згідно рекомендації G.671 (1.3.1/IEC 60876-1) оптичний комутатор є пасивний оптичний компонент з двома або більше портами, котрий вибірково передає, переадресовує або блокує оптичний сигнал при передачі по оптичному волокну.

Комутатори застосовують (окрім їх прямої функції оптичної комутації) для того, щоб за виникнення пошкоджень в мережі направити сигнал по іншому оптичному шляху або через іншу мережу. Для перенаправлення кількох каналів можуть застосовуватись прості оптичні перемикачі. Для складних мережних архітектур (кільцевої, коміркової) з великою кількістю вузлів та точок доступу, де необхідна гнучка швидка комутація великої кількості каналів, використовують технологію оптичної крос-комутації (на основі комутації волокон чи 9 довжин хвиль). Наприклад, використовується ґратки, масиви хвилеводів, рідкі кристали. Основні параметри описані у рекомендації G.671:

- Внесені втрати
- Втрати на з'єднаннях
- Втрати на відбиття
- Втрати, що залежать від поляризації
- Перехресні завади
- Тривалість переключення

Тривалість переключення на резерв згідно рекомендації (п. 11.4.1) G.783 та (п.7.1) G.841 не повинна перевищувати 50 мс.

Тривалість переключення для оптичних комутаторів згідно рекомендації G.671 наведено нижче у таблиці § 2.15.

Оптичні комутатори стали тим елементом WDM систем, котрий дозволив відійти від побудови мережі за структурою "точка-точка" і перейти до більш складних структур та зробив WDM мережу більш керованою, гнучкою і ефективнішою щодо вирішення потреб користувачів.

Оптичну комутацію можна поділити на два типи:

- комутація потоків (крос-комутація) — коли за допомогою оптичного комутатора є можливість перенаправити (переключити) оптичні тракти між оптичними волокнами.

- X- комутація — коли за допомогою оптичного комутатора створюються умови (за допомогою дисперсійних елементів) для комутації довжин хвиль між оптичними трактами та оптичними волокнами.

На сьогодні оптичні комутатори існують двох типів: О/Е/О (оптика/електрика/оптика) та фотонних О/О/О (оптика/оптика/оптика) (тобто повністю оптичних), кожний з яких має свою сферу застосування.

Комутатори О/Е/О типу є "інтелектуальними" порівняно з фотонними О/О/О комутаторами. Повністю оптичні фотонні комутатори О/О/О типу дають змогу перейти до повністю оптичних мереж.

Повністю оптичні комутатори О/О/О типу здійснюють комутацію без перетворення оптичного сигналу в електричний. Прикладом такого типу комутаторів може бути комутатор із 3D MEMS (трьохмірною електромеханічною системою).

Така система використовує механізми нахилу та керування MEMS дзеркальною матрицею у трьохмірному просторі для комутації потоків, як показано на рисунку 2.1 а):

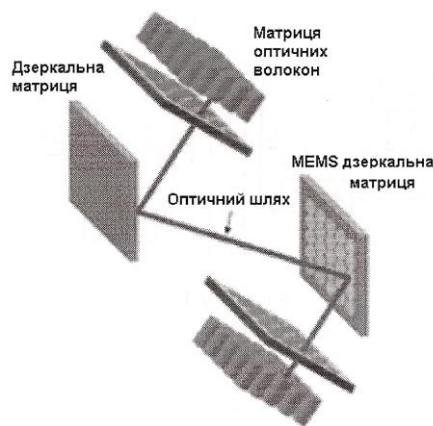


Рисунок 2.1 а)

Загальна порівняльна характеристика повністю оптичних комутаторів зроблені за різними технологіями, наведена в таблиці:

Параметр	Середовище комутації			
	Вільний простір		Хвильоводне	
Технологія виконання	MEMS	Рідкі кристали	Термооптичні бульбашки	Термооптичні/ електрооптичні хвильоводи
Здатність до збільшення ємності комутаційної матриці	Добра	Погана	Погана	Погана
Втрати	Малі	Не досліджено	Великі	Не досліджено
Тривалість комутації	Мала	Не досліджено	Не досліджено	Мала
Перехідні завади	Малі	Не досліджено	Не досліджено	Не досліджено
Ефекти поляризації	Малі	Малі (досліджується)	Малі (досліджується)	Великі

Параметр	Середовище комутації			
	Вільний простір		Хвильоводне	
Незалежність від довжини хвилі	Добра	Добра	Добра	Погана
Незалежність від швидкості передачі	Добра	Добра	Добра	Добра
Споживання енергії	Добра	Добра	Погана	Погана

Недоліком такого класу оптичних комутаторів є повільність переключення (порядку мілісекунд).

Електрооптичні комутатори, на відміну від повністю оптичних комутаторів, окрім комутації потоків (крос-комутації), можуть виконувати:

- функцію 3R регенерації.
- комутацію за довжинами хвиль — λ - комутація (за допомогою дисперсійних елементів).
- комутацію за кодовою комбінацією (на основі таких мережних концепцій як GMPLS (базується на відомій в технології ATM та IP класичній концепції MPLS) — мітки вводяться для різноманітних оптичних компонентів: оптичних волокон; довжин хвиль (λ - комутація) та групи довжин хвиль; оптичних вузлів комутації.

Архітектура оптичного вузла комутації такого типу комутаторів.

Оптичний вузол комутації, як зображено на рис. 2.1 б), складається з наступних вузлів:

Вхідні/вихідні лінійні блоки, до складу яких входять підсилувальні та корегуючі пристрої і оптичні мультиплексори/демультиплексори. Ці блоки відповідають за відновлення сигналів на прийомі з лінії та формування сигналів для передачі в лінію.

Оптичні комутатори, що виконують функції проклячення транзитних каналів, під'єднання допоміжних пристроїв та блока керування вузла комутації.

Оптичний буфер, що становить собою лінію затримки або оптичний блок пам'яті. Він виконує допоміжні функції* узгодження часу необхідного для проходження сигналу через вузол, з тривалістю встановлення комутаційного проклячення.

Хвильові конвертери, які є активними пристроями з оптико-електронно-оптичним перетворенням сигналу та виконують допоміжну функцію зміни довжини хвилі сигналу при виконанні λ -комутації.

Блок керування призначений для аналізу інформації щодо адресу вхідних інформаційних пакетів, за якою виконується переключення вхідного інформаційного пакету до вихідного порта з визначеними напрямком передачі та довжиною хвилі несівної. Крім того, він виконує допоміжні сервісні функції по спостереженню за параметрами передачі та комутації і конфігурації вузла та інше.

В найскладнішому випадку створення тракту передачі сигналу, що проходить через оптичний вузол комутації, виглядає наступним чином. Сигнал прийшовши на вхідний порт, відновлюється за рівнем та формою і подається на демультиплексор, котрий виділяє окремі потоки інформації, що автоматично під'єднуються до оптичних буферів, для затримки на час, необхідний для створення трактів проходження, і на блок керування, який виділяє адресну інформацію (що визначає довжину хвилі та напрямком наступної ділянки) та керує створенням тракту для передачі окремих потоків через вузол. За необхідності змінити довжину хвилі до тракту під'єднується відповідний конвертер довжин хвиль, який виконує цю процедуру. На вихідному порту окремі потоки відновлюються по рівню потужності, об'єднуються в груповий сигнал на відповідний напрямок та передаються в лінію.

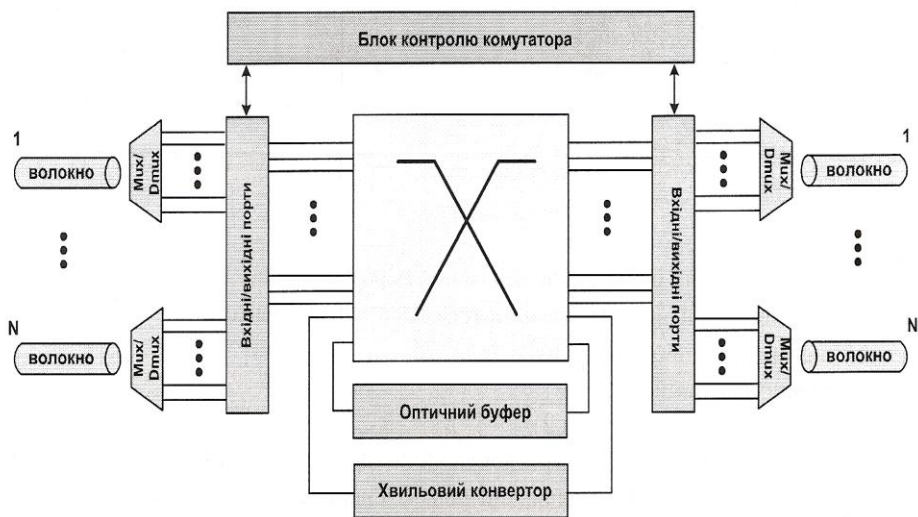


Рисунок 2.1 б)

Елементами електрооптичної комутації можуть бути комірці Поккельса.

Робота комірки Поккельса базується на використанні ефекту Поккельса, суть якого полягає в зміні показника заломлення матеріалу пропорційно до напруженості електричного поля **в** комірці Поккельса. І як наслідок, змінюється стан поляризації (на ортогональний), що призводить до комутації сигналу.

Порівняльні функціональні властивості різних класів оптичних комутаторів зведені в таблицю.

Функції	Класи комутаторів		
	Повністю прозора оптична комутація	Електрична комутація	Електрооптична комутація
Можливість управління властивостями	складна	легка	легка
Можливість перевірки з'єднань	складна	легка	легка
Можливість вилучення ділянок зі збоями	складна	легка	легка
Можливість автоматичного визначення (відновлення) топології	складна	легка	легка

Функції	Класи комутаторів		
	Повністю прозора оптична комутація	Електрична комутація	Електрооптична комутація
Можливість поступового нарощування ємності та лінійної швидкості	існує	не існує	існує
Можливість одночасного доступу до кількох вихідних портів	не існує	існує	існує
Можливість працювати з різними швидкостями вхідних потоків	не існує	існує	існує
Можливість автоматичного відновлення?	не існує	існує	існує
Внутрішньосмугова сигналізація	не існує	існує	існує

2.7 Хвильові розгалужувачі

Хвильові розгалужувачі (пасивні селективні мультиплексори) у системах WDM використовують, коли потрібно розділити окремі інформаційні канали за заданою довжиною хвилі. Хвильові розгалужувачі є пасивними оптичними компонентами. Основні параметри, описані у рекомендації G.671. Важливими їхніми параметрами є:

- Високе значення перехідного загасання
- Внесені втрати

2.8 Пристрої компенсації дисперсії

Пристрої компенсації дисперсії (ПКД) надають сигналу дисперсію, рівну за величиною та протилежну за знаком до дисперсії, набутій ним в оптичному волокні, що відновлює первинну форму імпульсів. У модуля компенсації дисперсії є недолік, котрий полягає у великих значеннях вносимих втрат.

Компенсатори дисперсії є необов'язковими елементами WDM систем. Наприклад, можна використовувати послідовно з'єднані пари лінійних волокон з взаємно-оберненою дисперсією (так звані волокна компенсують дисперсію DCF (dispersion compensating fiber)).

Для компенсації дисперсії можуть застосовуватись хвилеводні брегівські ґратки FBG (fiber Bragg grating) котрі є відрізками нерегулярного волокна, в котрому зміною показника заломлення вздовж вісі волокна сформована аперіодична брегівська ґратка. Хвилеводні брегівські ґратки широко застосовуються в системах WDM (в таких пристроях як OADM, мультиплексорах, демультимплексорах, хвилеводних конвертерах, вузькосмугових та широкосмугових оптичних фільтрах).

Основні параметри, описані у рекомендації G.666. Важливими параметрами ПКД є:

- Вносимі втрати
- Робоча смуга частот
- Коефіцієнт компенсації дисперсії
- Знак компенсуючої дисперсії

Компенсатори дисперсії зазвичай використовуються спільно з оптичним підсилювачем, що дає можливість виконати 1R регенерацію.

2.9 Оптичні підсилювачі

Оптичні підсилювачі забезпечують безпосереднє підсилення всіх оптичних каналів, що передані WDM мультиплексором, без їх перетворення у електричні сигнали та знову у оптичні. Оптичні підсилювачі підсилюють сигнал, що проходить через них, і використовують різні активні оптичні середовища та нелінійні ефекти. Вони не виконують 3R регенерацію, на відміну від регенераторів. (Згідно з рисунком A.1 рекомендації G.872 регенерація сигналу поділяється на 1R (Підсилення та корекція частоти і дисперсії); 2R (1R + відновлення первинної цифрової форми сигналу та подавлення шуму); 3R (2R + відновлення форми та положення імпульсу). На практиці в лінії між регенераторами може застосовуватись до 10 оптичних підсилювачів (на кількість оптичних підсилювачів впливає вносимий підсилювачем шум).

Оптичні підсилювачі обов'язково використовуються після WDM мультиплексора і перед WDM демультимплексором для компенсації енергетичних втрат.

Параметри оптичних підсилювачів, їх характеристики та методи їх виміру, що описані у рекомендаціях ITU G.661, G.662, G.663, G.665 та стандартах IEC 61290-1, IEC 61290-3-1, IEC 61290-3-2, IEC 61290-4-1, IEC 61290-5-1, IEC 61290-5-2, IEC 61290-5-3, IEC 61290-10-2, IEC 61291-1, IEC 61291-4, IEC 61292-3:

- Коефіцієнт підсилення каналу
- Рівномірність коефіцієнта підсилення
- Поляризаційна залежність коефіцієнта підсилення
- Профіль підсилення
- Підсилене спонтанне випромінювання
- Шум-фактор

Типи оптичних підсилювачів

№	Типи підсилювачів	Сфера застосування	Рекомендації
1	Підсилювач на волокні, що використовує розсіювання Мандельштама-Брілюена	Підсилення одного каналу (однієї довжини хвилі)	
2	Підсилювач на волокні, що використовує Раманівське розсіювання	Підсилення кількох каналів одночасно	ITU G.665 IEC 61292-3
3	Параметричні оптичні підсилювачі	Підсилення кількох каналів одночасно	
4	Напівпровідникові лазерні підсилювачі	Підсилення великої кількості каналів в широкій області діапазону хвиль одночасно	ITU G.661, G.662, G.663
5	Підсилювачі на волокні з домішками	Підсилення великої кількості каналів в широкій області діапазону хвиль одночасно	ITU G.661, G.662, G.663

Підсилювач на волокні, що використовує розсіювання Мандельштама-Брілюена

Стимульоване розсіювання Мандельштама-Брілюена — нелінійне явище, за якого енергія оптичної хвилі (на частоті f_1) переходить у енергію нової хвилі (на частоті f_2). Якщо накачування відбувається на (частоті f_1), то такий підсилювач здатен підсилювати корисний сигнал на (частоті f_2).

Явище розсіювання Мандельштама-Брілюена виникає за потужності накачування порядку 10 мВт. Рівень порогової потужності за якого виникає розсіювання Мандельштама-Брілюена, пропорційний ширині спектральної лінії лазера накачування, ефективній площі серцевини волоконного світловоду, та обернено пропорційний довжині волокна.

Підсилювач на волокні, що використовує комбінаційне розсіювання Рамана

Такі підсилювачі використовують нелінійне явище, пов'язане із стимульованим Раманівським розсіюванням. Раманівським, розсіювання назване на честь індійського фізика С. В. Рамана, котрий відкрив цей ефект у 1928 р. Принцип дії підсилювача полягає в тому, що частка енергії випромінювання з частотою f_1 , що поширюється у волокні, збуджує молекули речовини, при цьому з'являється компонента світлового потоку з частотою f_2 (антистоксова компонента, де $f_2 < f_1$). Якщо на частоті f_2 передавати корисний сигнал, а потужність накачування на частоті f_1 зробити достатньо великою, тобто енергія сигналу з частотою f_1 може повністю перейти до сигнального потоку, тобто волокно стає розподіленим підсилювачем, з коефіцієнтом підсилення, пропорційним потужності накачування.

Таким чином, принцип дії Раманівських підсилювачів тотожний підсилювачам з розсіюванням Мандельштама-Брілюена, однак зсув між частотою корисного сигналу, що підсилюється, та частотою хвилі накачування є більшим. Спектральна смуга підсилення також є ширшою, що дозволяє підсилювати одразу кілька каналів WDM системи.

Явище розсіювання Рамана виникає при потужності накачування порядку 0,5-5-1,4 Вт (в залежності від довжини волокна).

Оптичні підсилювачі, котрі побудовані на ефекті стимульованого Раманівського розсіювання, та їхні параметри описані у рекомендації ITU G.665 та стандарті IEC 61292-3.

Цей тип оптичних підсилювачів є досить перспективним, оскільки такі підсилювачі дозволяють будувати VVDM системи, що можуть охоплювати діапазони 0+E+S+C+L одночасно.

Порівняно з широко застосовуваним на дійсний час підсилювачем EDFA Раманівські підсилювачі набагато кращі за шумовими характеристиками та менш чутливі до температурних впливів. Згідно з рекомендацією G.665 Раманівські оптичні підсилювачі поділяють на:

- Співнаправлені (в котрих енергія накачування здійснюється в напрямку розповсюдження корисного сигналу)



Рисунок 2.1 в)

- Зворотньонаправлені (в котрих енергія накачування здійснюється в напрямку, протилежному напрямку розповсюдження корисного сигналу)

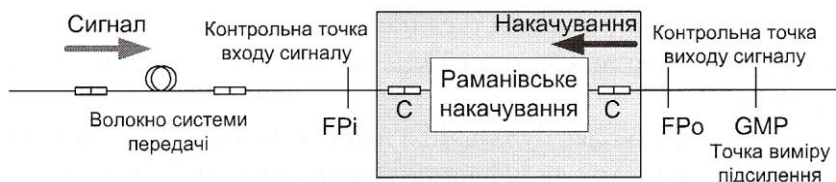


Рисунок 2.2

- Двонаправлені (в котрих енергія накачування здійснюється в обох напрямках)

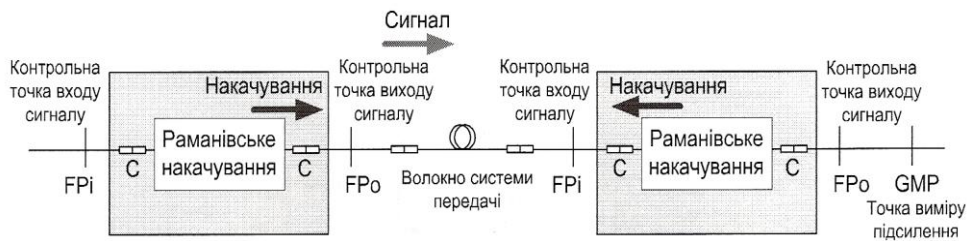


Рисунок 2.3

Маркування Раманівських підсилювачів згідно з G.665 здійснюється у такий спосіб:

Cnyz

C Символ позначки Раманівського оптичного підсилювача **n** Номер:

- 1 - зосереджені підсилювачі (наприклад, додаткові підсилювачі)
- 2 - зосереджені попередні підсилювачі
- 3 - зосереджені лінійні підсилювачі
- 4 - зосереджений підсилювач, суміщений з передавачем (OAT)
- 5 - зосереджений підсилювач, суміщений з приймачем (OAR)
- 6- розподілений Раманівський підсилювач
- 7- складний розподілений та зосереджений підсилювач **y** Перша літера:
- a - підсилювач для аналогової, одноканальної (однохвильової) передачі
- b - підсилювач для цифрової, одноканальної (однохвильової) передачі
- c - підсилювач для цифрової, багатоканальної (багатохвильової) передачі

z Друга літера:

- f-співнаправлене накачування
- г — зворотньонаправлене накачування
- b — двонаправлене накачування Наприклад:

Sбсг - зворотньонаправлений розподілений Раманівський підсилювач для цифрової багатоканальної передачі.

S7bb - двонаправлений складний Раманівський підсилювач для цифрової одноканальної передачі

Параметричні оптичні підсилювачі

Оптичні підсилювачі, що використовують ефект чотирихвильового змішування. Такі підсилювачі потребують великої потужності накачування (порядку 30 + 70 Вт), мають значний коефіцієнт підсилення (до 50 дБ), але їх реалізація потребує значної складності, що стримує їхнє практичне використання.

Напівпровідникові оптичні підсилювачі

Напівпровідниковий оптичний підсилювач — підсилювач, активною речовиною якого є напівпровідниковий матеріал, а система накачування - електрична.

Напівпровідникові оптичні підсилювачі використовують стимульовану емісію фотонів, що виникає завдяки взаємодії фотонів випромінювання сигналу з випромінювальною рекомбінацією носіїв заряду у напівпровіднику.

Їх перевагою є безпосереднє перетворення електричної енергії накачування в світлову енергію сигналу та не потребують мультиплексора (селективного розгалужувача). Мають малі розміри, що полегшує їх використання з оптичними компонентами системи.

Підсилювачі на волокні з домішками

Оптичні підсилювачі, що використовують як активний матеріал рідкоземельні елементи (або лантаніди - елементи з 57 по 71 в періодичній таблиці Менделєєва). Як правило, це Неодим (Nd) та Празеодим (Pr) для підсилення у вікні 1300 нм, Ербій (Er) та застосований з ним Ітербій (Yb) для підсилення у вікні 1550 нм.

З огляду на те, що у сучасних WDM системах використовуються C та L діапазони, найчастіше застосовують підсилювачі, виготовлені на волокні, легуваному ербієм, EDFA.

В залежності від застосування оптичні підсилювачі класифікують як:

1. Попередній підсилювач (ПоП) (має низький рівень шуму) розташовують перед оптичним приймачем для збільшення відношення сигналу до шуму.
2. Лінійний підсилювач (ЛП) (має низький рівень шуму) вмикають на виході ділянки оптичного волокна для компенсування втрат, що вносяться волокном.
3. Підсилювачі потужності (ПП) (бустер) використовують для збільшення потужності джерела випромінювання та встановлюють після оптичного передавача.

При застосуванні оптичних підсилювачів важливо визначити число каскадів оптичних підсилювачів, необхідних для кожного оптичного каналу. Число каскадів оптичних підсилювачів, допустиме в оптичному каналі, обмежується сумарним шумом, котрий вносить кожний підсилювач. Кожний підсилювач дещо погіршує відношення сигнал шум (OSNR). З досягненням мінімального відношення OSNR (тобто значення OSNR, нижче котрого на боці приймача будуть з'являтися помилки), стає необхідним оптико-електрично-оптичний вузол регенерації (ОЕО).

Окрім цього, у випадку використання оптичних підсилювачів потужності (бустерів) максимальна допустима потужність на канал не повинна перевищувати +10 дБм для каналу 10 Гбіт/с та +15 дБм для каналу 2,5 Гбіт/с та нижчої швидкості. Перевищення може викликати нелінійні ефекти в оптичному волокні.

2.10 Хвильові конвертери

Хвильові конвертери (пасивний транспондер) призначені для перетворення однієї довжини хвилі в іншу. Так, якщо інформаційний сигнал у підмережі 1 було представлено каналом на довжині хвилі, котра вже задіяна в іншій підмережі - 2, то хвильовий конвертер може перетворити цей сигнал при переході з підмережі 1 в підмережу 2 на іншу вільну в підмережі 2 довжину хвилі, забезпечивши прозорий зв'язок між пристроями в різних підмережах. У хвильових конвертерах використовується ефект чотирихвильового змішування. Важливими параметрами є:

- Внесені втрати
- Перехресні завади
- Втрати на відбиття

2.11 Оптичне волокно

Оптичне волокно — фізичне середовище передавання інформації.

Оптичне волокно у вигляді циліндра круглого поперечного перерізу з прозорого для оптичного випромінення діелектричного матеріалу забезпечує розповсюдження світла вздовж волокна за рахунок використання явища повного внутрішнього відбиття, що забезпечується наявністю оболонки показник заломлення котрої

$n_2 = \sqrt{\epsilon_2} = \text{const}$ менший від максимального значення показника заломлення

матеріалу серцевини волокна $n_1(r) = \sqrt{\epsilon_1(r)}$, (де r — поточний радіус), (ϵ_2 і $\epsilon_1(r)$) — відносна діелектрична проникність матеріалу оболонки та радіально-неоднорідного матеріалу серцевини відповідно. При цьому основна частина енергії оптичного випромінення зосереджується в серцевині. Для захисту від зовнішніх впливів та підвищення механічної міцності волокна його оболонку покривають захисним покриттям.

Оптичні волокна в залежності від профілю показника заломлення в серцевині поділяють на східчасті (однорідні), градієнтні (ступеневі) та волокна зі складним профілем показника заломлення.

Всі оптичні волокна поділяють на дві групи:

1. Одномодові (SMF, Single-Mode Fiber)
2. Багатомодові (MMF, Multi-Mode Fiber)

Одномодові оптичні волокна направляють одну моду в робочому діапазоні довжин хвиль.

У волоконно-оптичних системах передачі з WDM використовують одномодові оптичні волокна, котрі є середовищем передавання (відповідно фізичним рівнем оптичної транспортної мережі):

- Волокно без зсунутої дисперсії, так зване стандартне волокно (SF, Standard Fiber)
- Волокно із зсунутою дисперсією (DSF, Dispersion-shifted Single-mode Fiber)
- Волокно із зсунутою довжиною хвилі зрізу
- Волокно з ненульовою зсунутою дисперсією (NZDSF - Non-Zero Dispersion-shifted Single-mode Fiber)
- Волокно з ненульовою дисперсією для широкосмугового оптичного переносу.

Різні типи волокон є достатньо близькими за значенням величини загасання, але суттєво відрізняються за величиною хроматичної дисперсії, як показано на рисунку:

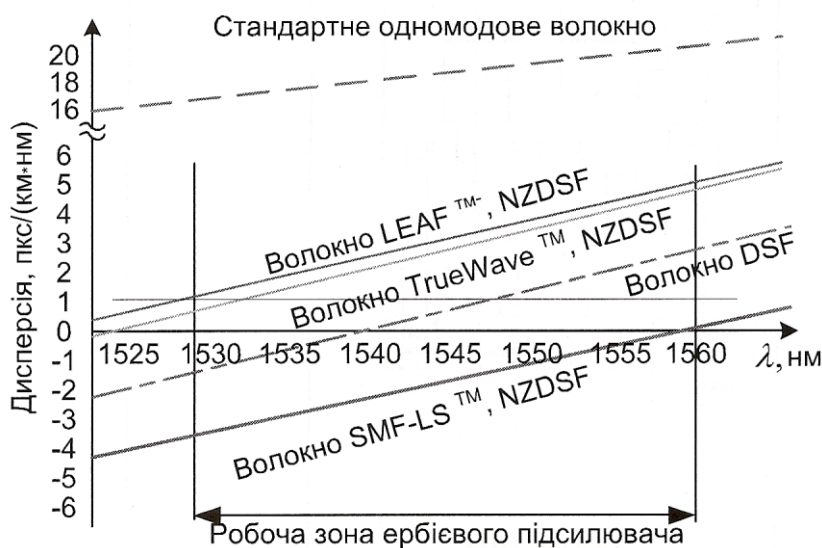


Рисунок 2.4

Параметри та характеристики оптичних волокон, визначені в рекомендаціях G.650.1, G.650.2, G.651, G.652, G.653, G.654, G.655, G.656:

- Погонне загасання у волокні в кабелі
- Хроматична дисперсія
- Поляризаційна дисперсія моди
- Втрати на макровигинах
- Діаметр поля моди
- Довжина хвилі зрізу одномодового волокна в кабелі
- Діаметр оболонки
- Неконцентричність серцевини
- Некруглість оболонки
- Стійкість до розриву

Оптичні волокна є лише середовищем розповсюдження сигналу. Для захисту волокон їх об'єднують в оптичні кабелі.

Оптичний кабель — кабельний виріб, що містить одне або більше оптичних волокон чи пучків оптичних волокон всередині спільної оболонки, поверх якої в залежності від умов експлуатації може знаходитись відповідне захисне покриття, в тому числі броня, силові та несучі елементи. За необхідності, оптичний кабель може мати в своєму складі також електричні провідники.

Для систем WDM використовуються волокна з оптичними параметрами згідно з рекомендаціями ІТУ.

В наступних таблицях приведені відповідні норми на допустимі відхилення геометричних параметрів, а також на оптичні характеристики одномодового волокна (механічні та геометричні параметри для всіх категорій волокон однакові):

Допустимі відхилення геометричних параметрів оптичних волокон

Параметр	Значення			
	ITU G.651 (багатомодові)	ITU G.652 (одномодові)	IEC 60793-2 (багатомодові)	IEC 60793-2 (одномодові)
Діаметр оболонки	±2,4%	±2 мкм	±3%	±3 мкм
Діаметр серцевини	±6%	-	±3%	-
Діаметр поля моди	-	±10%	--	±10%
Неконцентричність серцевини та оболонки	<6%	-	<6%	-
Некруглість оболонки	<2%	<2%	<2%	<2%
Некруглість серцевини	<6%	-	<6%	-
Неконцентричність поля моди і оболонки	-	±1мкм	-	-

Частина III Резервування в мережах СЦІ

Питання резервування в мережах СЦІ тісно пов'язані з плануванням та побудовою топології мережі зв'язку. Зазвичай для СЦІ передбачається апаратне резервування на рівні блоків мережених елементів і самих мережених елементів, а також резервування трафіка і мережених трактів. Останні пов'язані з організацією в рамках відповідної топології мережі робочих і резервних мережених трактів з врахуванням оптимальної схеми резервування.

Основною базовою конфігурацією мережі є топологія подвійних кілець, які утворюють сегменти мережі. Для підвищення надійності всієї мережі суміжні сегменти – кільця поєднуються не менше ніж у двох вузлах. В мережі передбачається необхідний ступінь резервування трафіка шляхом резервування трактів за рахунок відповідної надлишкової пропускної здатності мережі.

На практиці використовуються дві основні схеми резервування в кільцях:

- резервування з'єднань підмережі і організація однонаправлених самовідновлюваних кілець;
- двонаправлені самовідновлювані кільця на основі апаратури цифрових систем передавання СЦІ з одною або двома парами оптичних інтерфейсів приймання (дво- або чотирьохволоконні кільця), які називають кільцями із спільним резервуванням мультиплексорних секцій.

Однонаправлені кільця дешевше в реалізації, але у тих випадках, коли розподіл трафіка рівномірний між всіма парами мережених елементів. Двонаправлені кільця більш економічні з точки зору використання ємності. При цьому може досягатися суттєва перевага за сумарною ємністю двонаправленого кільця (до 2-х разів) в залежності від розподілу трафіка і кількості мережених елементів в кільці. Із збільшенням кількості мережених елементів ця різниця в сумарній ємності кілець з різним типом резервування зростає.

Резервне переключення сигналу забезпечує можливість використання запасної апаратури і апаратури оперативного переключення, яке полягає в тому, що у випадку пошкодження робочого каналу сигнал пройде через резервний канал.

Спосіб використання резервного переключення залежить від стратегії технічного обслуговування, яка застосовується на мережі. Для СЦІ надлишковість забезпечується для функції та фізичного середовища передавання між двома функціями мультиплексорної секції (MSP). Таким чином, функція резервування MSP забезпечує резервування для сигналу STM-N при пошкодженнях в мультиплексорній секції.

Функція MSP встановлює зв'язок з відповідною функцією MSP дальнього кінця для координації операції переключення за допомогою бит-орієнтованого протоколу, визначеного для K байтів заголовка MSON. Вона також встановлює зв'язок з функцією SEMF для автоматичного і ручного управління переключенням. Автоматичне і ручне переключення на резерв ініціюються після аналізу стану прийнятих сигналів. Ручне переключення на резерв забезпечує як місцеве, так і дистанційне переключення за командами, прийнятих за допомогою функції SEMF.

Функція MSP може здійснювати переключення в обох напрямках передавання або в одному напрямку передавання, та, в режимі зворотнього переключення або в режимі без зворотнього переключення в залежності від управління мережею.

При двосторонньому переключення канал переключасться на резервну секцію в обох напрямках, а переключення тільки в одному напрямку не дозволяється. При односторонньому – переключення завершується в той момент, коли канал в пошкодженому напрямку переключасться на резервний.

В режимі зворотнього переключення робочий канал знову переключасться на робочу секцію, тобто відновлюється, коли пошкодження в робочій секції усунено. В режимі без зворотнього переключення перемикач утримується навіть після усунення пошкодження.

Апаратне та мережене резервування організуються за схемами:

- 1+1 – кожному робочому елементу відповідає резервний;
 - M:N – резервний елемент включається тільки після виявлення відмови основного елемента.
- Для схеми M:N існують випадки, коли M і/або N рівні 1.

В конфігурації переключення на резерв MSP 1+1 сигнал STM-N одночасно передається на дві мультимлексорні секції, які називаються робочою і резервною секціями, тобто сигнал STM-N постійно підключений до робочої і резервної секціям на передаючому кінці. Функція MSP на приймальному кінці контролює стан сигналів STM-N, які надходять від обох секцій, і підключає (обирає) потрібний сигнал. В наслідок постійного підключення робочого каналу за мостовою схемою конфігурація 1+1 не дозволяє забезпечувати канал з нерезервованим додатковим навантаженням.

В конфігурації переключення на резерв M:N резервна секція спільно використовується суміжними робочими каналами. На двох кінцях будь-який з N каналів STM-N або канал додаткового навантаження підключається за мостовою схемою до резервної секції. Функції MSP контролюють та оцінюють стан прийнятих сигналів, виконують мостове з'єднання і вибір відповідних сигналів на резервній секції.

Схеми переключення на резерв на ділянці між синхронними мультимлексорами CM-1 і CM-2 типу 1+1 та M:N наведені, відповідно на рис. 1 і рис. 2 для одного напрямку передавання.

Резервування трактів підмережним з'єднанням (Sub-Network Connection Protection – SNCP) може забезпечуватись при використанні функцій з'єднання HPC і LPC. Резервування SNC використовуватися в мультимлексорах введення/виведення, кросових вузлах компонентних сигналів. З'єднання встановлюються так само, як і кросові з'єднання, за винятком того, що замість двох термінальних точок з'єднуються три термінальні точки.

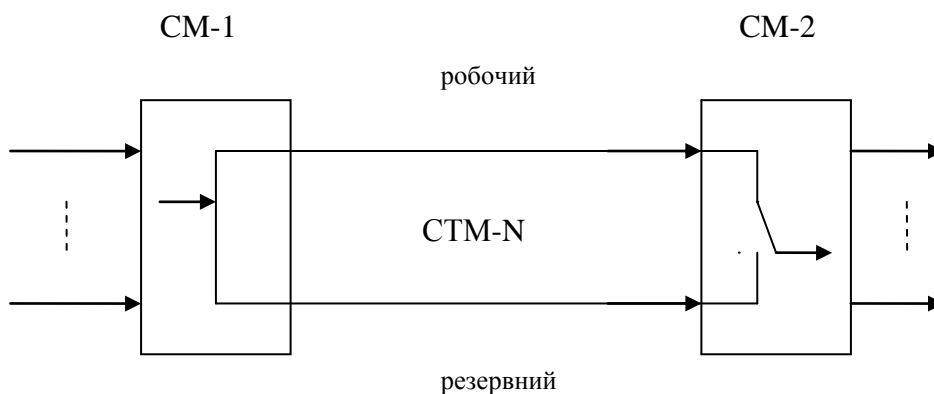


Рис. 1

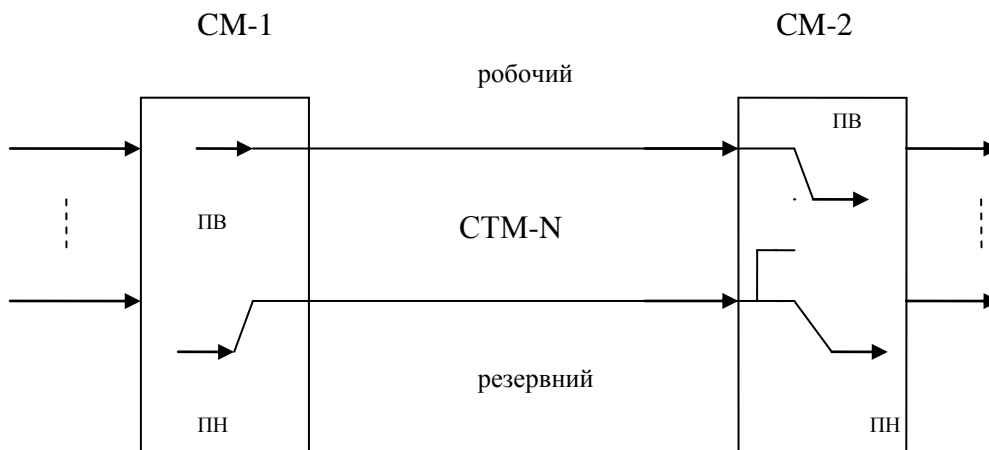


Рис. 2

Резервуючи з'єднання є двонаправленими, при цьому як основне, так і резервне з'єднання можуть бути додані або видалені без порушення трафіка. З'єднання SNC захищені за схемою 1+1, при якій відбувається безперервне передавання сигналу за основним та резервним трактам.

Якщо робоче з'єднання виходить з ладу, тоді вузол автоматично переключається на резервний сигнал. Переключення на кожний з кінців з'єднання відбувається незалежно від другого кінця.

Захист з'єднань між підмережами SNC може використовуватися, наприклад, для побудови самовідновлюючого кільця. В цьому випадку сигнал передається по кільцю одночасно в двох напрямках і обидва сигнали контролюються на прийомі. Якщо відбудеться відмова основного сигналу, то приймальний вузол автоматично переключається на захисний сигнал. Оскільки, захисний сигнал передається постійно, то відновлення після відмови з'єднання або вузла займає 100-250 мс.

На рис. 3 представлено кільце, яке включає 6 мережених елементів з двохволоконним посекційним резервуванням. Мережені вузли – мультиплексори введення/виведення з двома двосторонніми портами агрегатних сигналів (Захід та Схід). Західні порти одного мультиплексора з'єднані із східними портами другого мультиплексора так, щоб утворювалось два напрямки передавання – за і проти годинниковою стрілкою. Тракт агрегатного сигналу будь-якого напрямку кільця містить робочі тракти і резервні тракти на відміну від мережених структур з резервуванням типу SNCP. При пошкодженні на мережі відбувається комплекс переключень типу „Захід” і „Схід” (рис. 4, рис. 5), в результаті яких, утворюються відповідні шлейфи і резервування передаючих трактів. Переключення відбувається за допомогою протоколу, який використовує байти K1 і K2, в результаті чого компонентні тракти пошкодженої секції замінюються трактами з резервної ємності інших секцій.

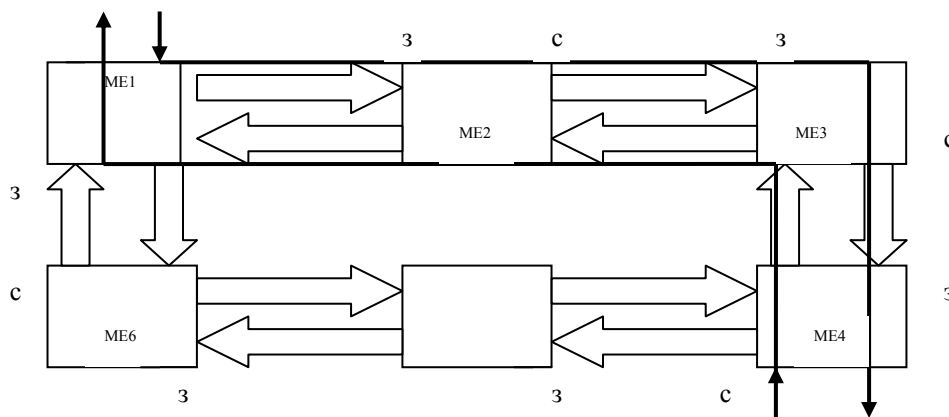


Рис. 3

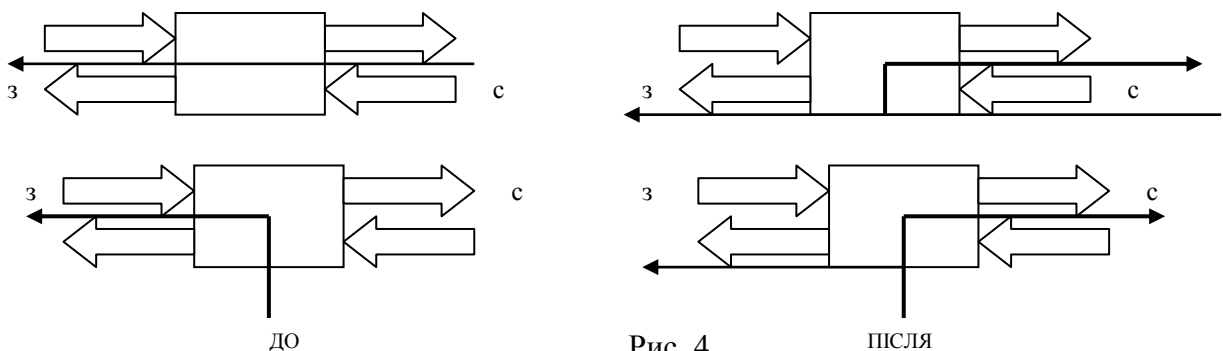


Рис. 4

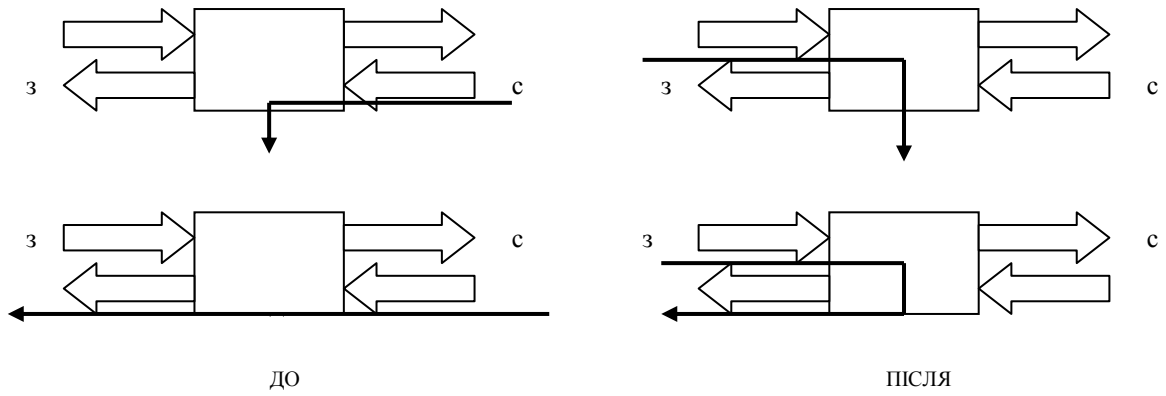


Рис. 5

Перспективним є побудова СЦІ у вигляді кількох об'єднаних кілець. Наприклад, мережа може складатися з одного або кількох кілець мережі доступу, пов'язаних за допомогою головного кільця (кільце транспортної мережі). Для з'єднання і взаємодії кілець між собою організуються шлюзи (мережені вузли міжкільцевого зв'язку). В цих мережених кільцях можуть використовуватися мультиплексори введення/виведення або апаратура оперативного переключення. На рис. 6 і рис. 7 показано відновлення компонентних трактів у випадку одного або двох пошкоджень в мереженій структурі.

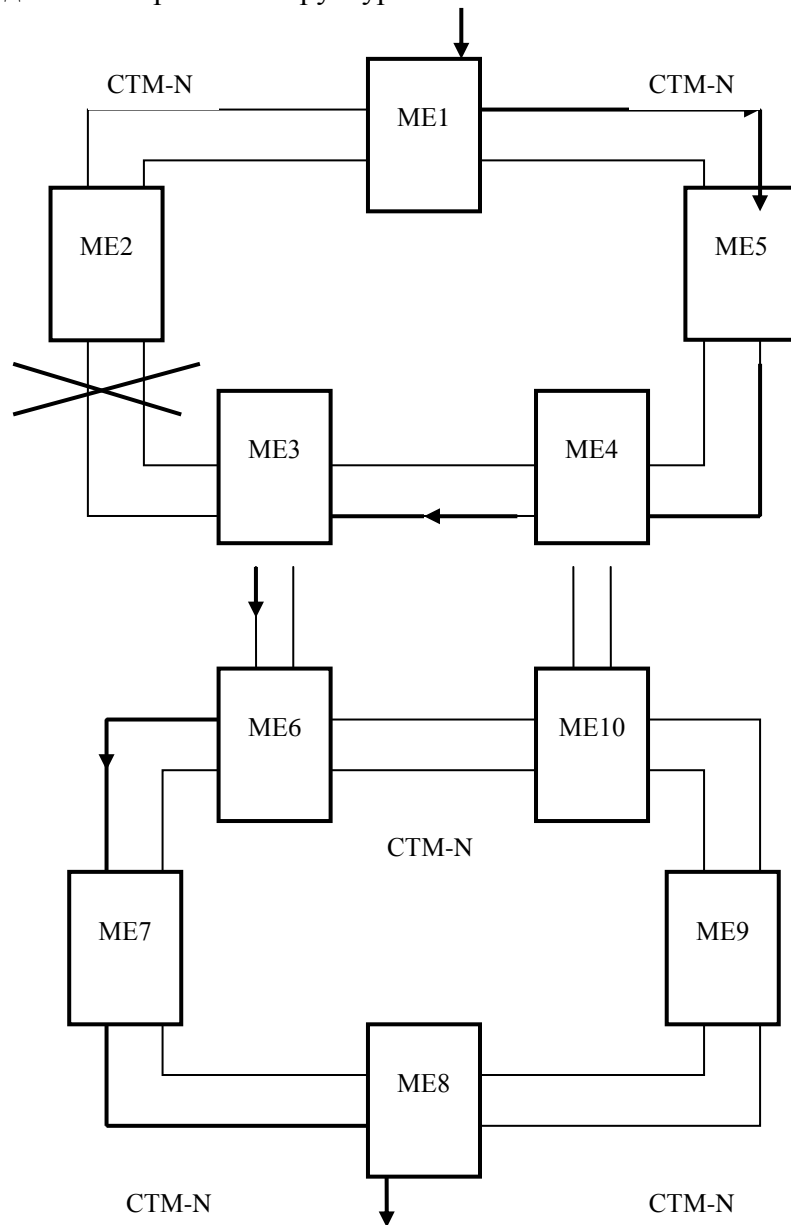


Рис. 6

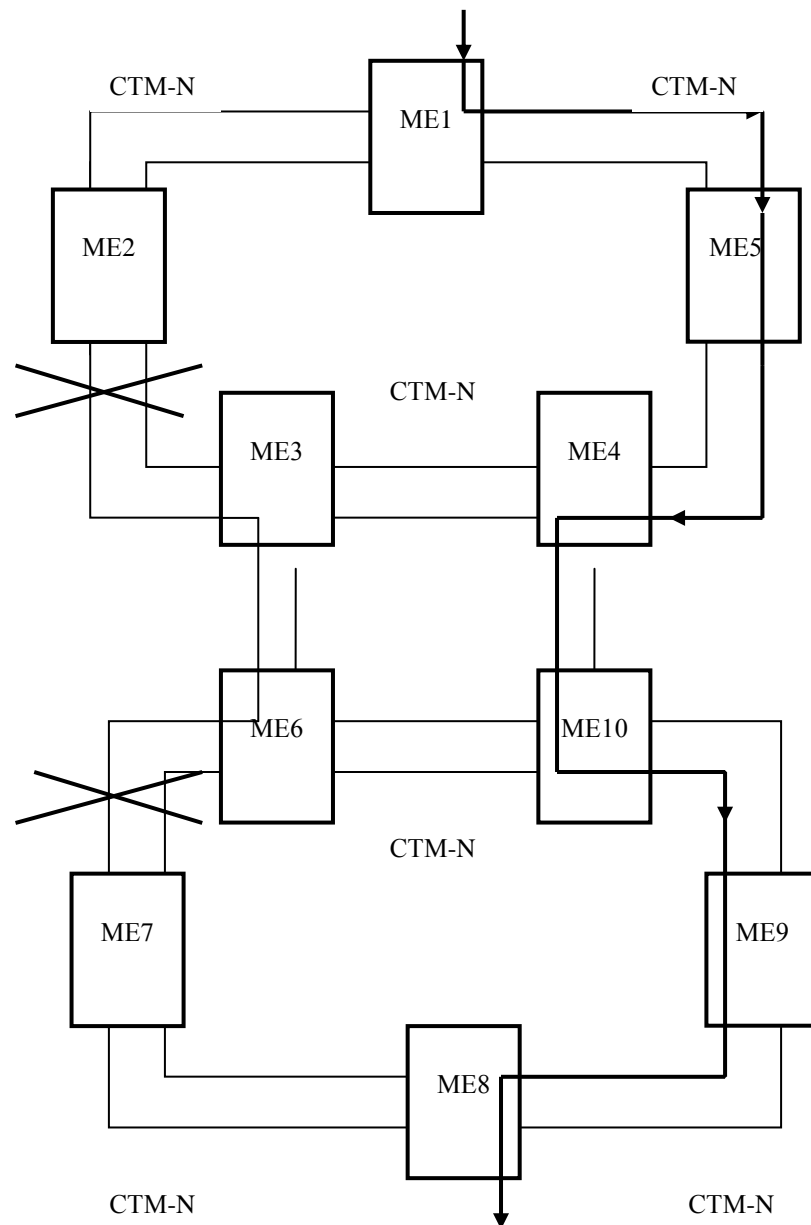


Рис. 7

При проектуванні транспортної мережі СЦІ необхідно виходити з перспективного прогнозу розвитку мережі, тим самим необхідно передбачити запас ємності в оптичних волокнах і резерв пропускної здатності потужності, щоб в перспективі вирішувати задачі розвитку і оптимального резервування.

Еволюційний розвиток ВОСП прямує в напрямку суттєвого збільшення пропускної здатності як за рахунок розвитку традиційних методів мультиплексування технології SDH (STM-1, 4, 16, 64, 256) так і за рахунок технологій спектрального ущільнення WDM, DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing – щільне мультиплексування з розподіленням по довжині хвилі або щільне хвильове мультиплексування), що забезпечує необхідну ширину смуги пропускання при зростанні потоків інформації.

Принцип системи WDM полягає у передачі кількох інформаційних потоків на різних оптичних довжинах хвиль (λ) без взаємної інтерференції по одному волоконному світловоду, що дозволяє значно підвищити інформаційну ємність ВОЛЗ і зменшити витрати на один канал-кілометр зв'язку. Системи густого спектрального ущільнення (DWDM) використовують для роботи тільки одне вікно прозорості (діапазон 1550 нм) в робочій смузі оптичного підсилювача (1530...1560 нм) і мають мале рознесення між оптичними каналами (0,4; 0,8; 1,6 нм), а також оптичні мультиплексори/демультиплексори які реалізують функції введення/виведення різних оптичних каналів з різними довжинами хвиль. Пристрої спектрального ущільнення (оптичні мультиплексори/ демультиплексори) є чисто пасивними пристроями, які вносять досить велике згасання (до 12 дБ) в лінійний тракт. Тому виникає необхідність встановлення оптичних підсилювачів перед або за оптичним мультиплексором [2].

Відповідно до Рекомендації G.692 [3] величина рознесення між оптичними каналами становить 50 ГГц ($\Delta\lambda=0,4$ нм), але поки що більш широке застосування знаходять системи з частотним рознесенням між оптичними несучими у 100 ГГц ($\Delta\lambda=0,8$ нм). Частотний план для діапазону 1550 нм також регламентований в Рекомендації G.692.

На практиці частіше застосовуються оптичні комутатори (ОК). Час спрацьовування ОК визначається перехідними процесами в електричних колах управління ОК, і на сьогодні не перевищує одиниць мікросекунд. Оптичний комутатор - це один з найбільш важливих елементів повністю оптичних мереж зв'язку, без якого неможливо побудувати масштабовану телекомунікаційну архітектуру. ОК характеризуються параметрами: перехідні завади, внесені завади, швидкість переключення, керуючі напруги. Зараз застосовуються ОК, які працюють на базі направлених відгалужувачів, мостових балансних інтерферометрів, пристроїв на схрещених оптичних хвилеводах та ін. Найбільш поширені ОК з використанням лінійного електрооптичного ефекту та полягає у зміні показника заломлення матеріалу пропорційно напруженості прикладеного електричного поля.

В оптичних мережах зв'язку широке застосування знаходять оптичні конвертори, які здійснюють чисто оптичне перенесення сигналу з однієї довжини хвилі на іншу. Таке перетворення повністю прозоре відносно частоти модуляції і не вносить затримки в електричний сигнал [4].

Повністю оптичні мережі можуть забезпечити практично необмежену смугу пропускання як для сучасних так і для майбутніх, інформаційних потоків. Ведуться інтенсивні дослідження і, вже розроблене більш досконале устаткування: багатоканальні оптичні спектральні мультиплексори DWDM (більше 1000 каналів), лазери з довжиною хвилі, яку можна настроїти, широкосмугові оптичні підсилювачі на ЕВС (EDFA), оптичні комутатори. Створені оптичне волокно з нульовою дисперсією в робочій смузі хвиль, відгалужувачі, з'єднувачі, фільтри та інші елементи, необхідні для побудови повністю оптичних мереж.

Технологічна реалізація багатоканальної системи передачі через оптичне волокно показана на рис.8.

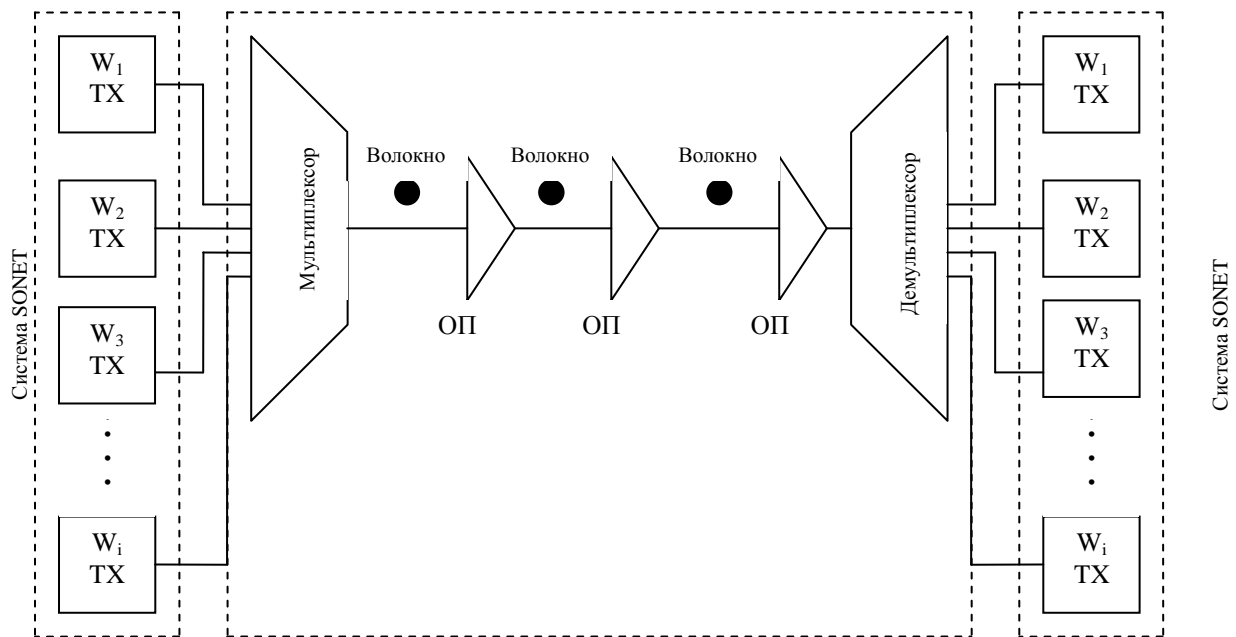


Рис. 8

Спектральний мультиплексор об'єднує сигнали з різними несучими частотами з декількох вхідних волокон та забезпечує передавання цих сигналів по одному транспортному магістральному волокну. Мультиплексування виконується пасивними пристроями, функціонування яких базується на відомих явищах фізичної оптики - дисперсії, дифракції, інтерференції. Зворотню операцію виконує спектральний демуплексор. Він виділяє одноканальні сигнали з багаточастотного сигналу магістрального волокна та спрямовує їх в окремі волокна. У магістральному одноволоконному тракті між мультиплексором і демуплексором використовуються досить поширені сьогодні підсилювачі на EDFA, які одночасно обслуговують всі канали волокна. В таких підсилювачах випромінювання лазера накачки поглинається атомами домішки (ербій), введеної у волокно, а накопичена в них енергія вивільнюється у вигляді оптичного сигналу. Оптичні підсилювачі встановлюють за десятки кілометрів один від одного. Деякі WDM-системи можуть простягатися на відстань до 260-600 км (система HONET компанії Huawei Technologies, Китай).

Наявне обладнання мультиплексування/демуплексування дозволяє вводити каналні потоки в багатоканальний потік або виділяти з нього задані канали без повторного мультиплексування/демуплексування різних каналів. Ці пристрої (мультиплексор введення/виведення – add/drop multiplexer, ADM) забезпечують зв'язок місцевих мереж з транспортними мережами [5].

Системи WDM не виключають також і часового мультиплексування. Зазвичай, пропускна спроможність одного оптичного каналу розподіляється між його підканалами на основі часового розподілу (TDM) з використанням технології SONET/SDH із своїми, нижчими, номіналами швидкостей. У такому випадку виникає завдання узгодження спектрального мультиплексора /демуплексора з апаратурою SONET/SDH, яка випускається різними виробниками. Поки що відсутність детальних стандартів на технологію WDM не дозволяє вирішити це завдання в цілому [3, 4].

Якщо частоти (довжина хвиль) передавачів компонентних потоків SONET/SDH та несучих оптичних: каналів мультиплексора відрізняються, то між ними встановлюють багатоканальний частотний конвертор. Якщо ж частоти однакові, то застосовується WDM без перетворення довжини хвиль. Оптичні підсилювачі на основі EDFA працюють тільки у визначеній області вікна прозорості 1550 нм (діапазон 1530-1560 нм). Для цієї смуги ITU-T затвердив сітку частот з

рознесенням 100 ГГц (0,8 нм). Крім того, вирішується питання про прийняття сітки з рознесенням 50 ГГц. Різницю між частотами сусідніх каналів вибирають, виходячи з характеристик апаратури, вимог до пропускної здатності каналів та характеристик апаратури.

Поява оптичних маршрутизаторів дозволить комутувати вхідний DWDM-трафік на окремих довжинах хвиль і, таким чином, створювати повнозв'язані мережі. На практиці застосування такого підходу означає підвищення надійності функціонування мережі, час простою якої практично буде зведено до нуля. Оптичні маршрутизатори можуть автоматично "спілкуватися" один з одним, що дозволить при їх високій інтелектуальності швидко направляти трафік в обхід непрацюючих ділянок мережі.

З метою забезпечення найбільш широкої смуги пропускання як для сучасних, так і майбутніх мережних інформаційних застосувань активно ведуться розробки з побудови різних архітектур з пасивною та активною хвильовою маршрутизацією, з застосуванням мультиплексорів та демультимплексорів, хвильових конверторів та ОК. Переваги матимуть ті архітектури, що дозволяють поступово нарощувати свої ресурси у більш широких межах. При цьому важливо забезпечити прозорість мережі та можливість користувачам передавати дані будь-якого вигляду та формату. На рис.3.7 показано розвиток ієрархічного представлення рівнів.

На першому етапі підтримуватиметься СЦІ. З появою відкритого оптичного інтерфейсу (ВОІ) діючі і нові технології передавання та служби можуть звертатись прямо до оптичного транспортного рівня з допомогою ВОІ (наприклад, оренда довжини хвилі та ін.).

При плануванні топологія WDM мережі повинна розподілятися таким чином, щоб задовольнити потреби за шириною смуги пропускання та надійності. Про цьому системи WDM розраховуються для заданого числа довжини хвилі [6].

Мережу WDM можна представити у вигляді N вузлів, з'єднаних оптичним волокном (ОВ) через які передається інформація на заданому числі довжини хвиль. Необхідна зв'язність на рівні довжини хвиль досягається за допомогою мультиплексорів ADM, а найбільш розповсюдженою топологією є кільцева. З точки зору планування ресурсів, найбільш підходять кільця WDM з виділеним резервуванням.

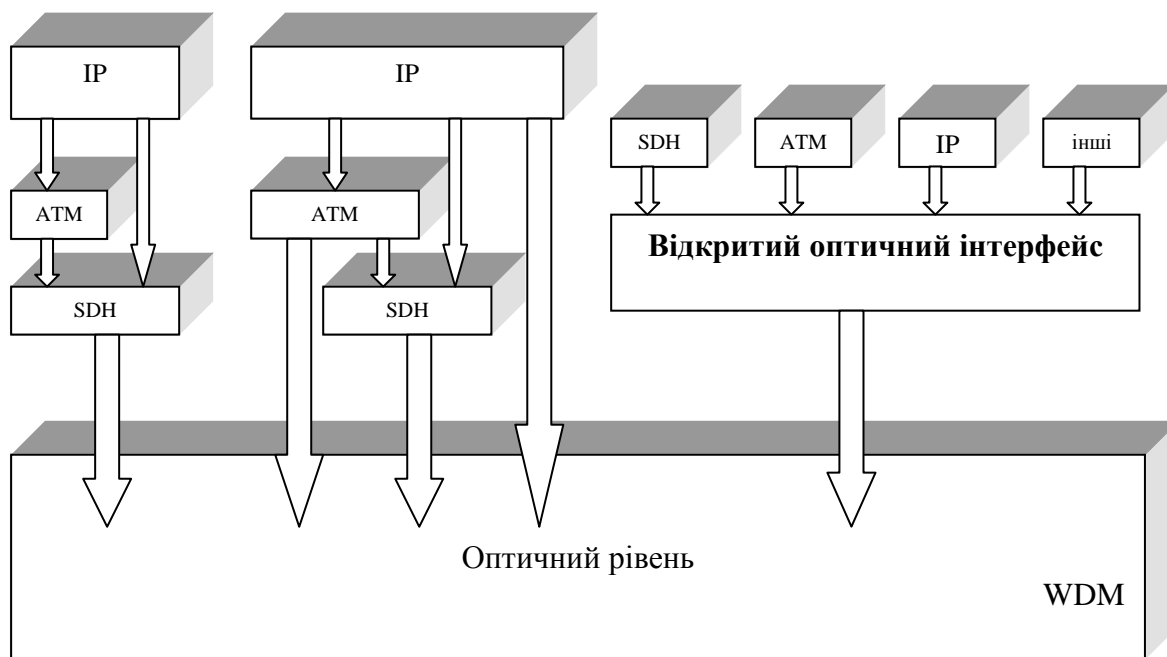


Рис. 9

Планування для кілець WDM з виділеним резервуванням зводиться до розносу резервних і основних каналів на одній довжині хвилі у різних напрямках. В даному випадку обидва напрямки передавання ОК займають одну довжину хвиль у всьому кільці.

Нехай в кільці з N вузлами та повнозв'язною схемою трафіка величиною в один оптичний канал між кожною парою вузлів існують $N(N-1)/2$ ОК; число довжини хвиль для двоволоконного кільця WDM з виділеним резервуванням також $N(N-1)/2$. Це справджується і для однонаправлених кілець без резервування. В даному випадку обидва напрямки передачі ОК займають одну довжину хвилі у всьому кільці.

Для кілець WDM із загальним резервуванням або двонаправлених кілець без резервування допускається використання одної довжини хвилі для організації по кільцю різних ОК, що призводить до зниження необхідного числа довжини хвиль. Це досягається за рахунок підвищених вимог до маршрутизації ОК по кільцю, а також встановлення відповідності між ОК та довжиною хвилі.

Нехай є кільцева структура, яка складається з N вузлів, з нумерацією від 0 до N-1. Кільце має два резервні і два робочі ОВ. Всі тракти є двонаправленими, і трафік передається по робочим волокнам у протилежних напрямках. Введемо наступні означення:

- λ_N і Λ_N – верхні межі для оптимального числа довжин хвиль, які необхідні для з'єднання між собою N вузлів в чотирьохпровідному кільці з/без застосування перетворення по довжині хвилі;

- μ_N – нижня межа для кілець з перетворенням по довжині хвилі.

Вищезазначені параметри задовольняють умовам $\mu_N \leq \lambda_N \leq \Lambda_N$. Розрахуємо необхідне число довжини хвилі в мережі без перетворення за довжиною хвиль. Нехай $\lambda(i, j)$ або $\lambda(i)$ – число довжини хвиль, яке необхідно для розташування всіх трактів, які проходять через вузли i та j (вузол i) [6].

Розглянемо випадок для N кратного 4. Тоді при $0 < i < N/4$ величина $\lambda(i, N/2-i) = N/2$. Всього необхідно $N/2$ довжини хвиль, при цьому для кожної нової довжини хвиль „початкова точка” зміщується на один вузол по колу. Розглянемо також випадок $\lambda(N/4) = N/4$, при цьому на одній довжині хвилі можна розмістити чотири тракти довжиною $N/4$, які повністю займуть довжину хвиль на відстані всього кільця.

У випадку $\lambda(N/2) = N/4$ „прямий” та „зворотній” тракти з такою довжиною можна розмістити в одному ОВ на одній довжині хвилі де вони будуть передаватися по колу двома можливими маршрутами. Таким чином, кожна довжина хвилі містить пару трактів, а при використанні двох ОВ для $N/2$ двонаправлених трактів необхідно виділити $N/4$ довжину хвиль.

Якщо найближче ціле визначити через x, тоді:

$$\Lambda_N = \left(\frac{N}{4} - 1\right) \frac{N}{2} + \frac{N}{4} + \frac{N}{4} = \frac{N^2}{8} = \left\lceil \frac{N^2 - 1}{8} \right\rceil. \quad (1)$$

Для парної кількості вузлів, які не кратні 4, при $1 \leq i \leq (N-2)/4$ величина $\lambda(i, N/2-i) = N/2$. Розподіл трактів в такому кільці буде аналогічним попередньому. Також, згідно вищенаведеному, для N непарним чотирьом $\lambda(N/2) = (N+2)/4$. Тоді:

$$\Lambda_N = \left(\frac{N-2}{4}\right) \frac{N}{2} + \frac{N+2}{4} = \frac{N^2 + 4}{8} = \left\lceil \frac{N^2 - 1}{8} \right\rceil. \quad (2)$$

При перетворенні в мережі за довжиною хвилі, нижню межу μ_N оптимального числа довжини хвиль в кільці можна отримати шляхом складання довжин всіх трактів та ділення отриманого числа на N.

Для парної кількості числа N існують N трактів, довжина кожного з яких складає 1, ..., $N/2-1$ і $N/2$ трактів з довжиною $N/2$:

$$\mu_N = \left\lceil \frac{N \sum_{i=1}^{N/2-1} i + \frac{N N}{2}}{N} \right\rceil = \left\lceil \frac{N \left(\frac{N}{2} - 1\right) + \frac{N}{4}}{4} \right\rceil = \left\lceil \frac{N^2}{8} \right\rceil = \left\lceil \frac{N^2 - 1}{8} \right\rceil. \quad (3)$$

Для непарної кількості числа N існують N трактів з довжиною хвиль $1, \dots, (N-1)/2$:

$$\mu_N = \left[\frac{N \sum_{i=1}^{(N-1)/2} i}{N} \right] = \left[\frac{\frac{N-1}{2} \frac{N+1}{2}}{2} \right] = \left[\frac{N^2 - 1}{8} \right]. \quad (4)$$

Таким чином, для будь-якого N $\mu_N = \lambda_N$ при умові $\mu_N \lambda_N \leq \Lambda_N$ отримуємо необхідну рівність $\mu_N = \lambda_N = \Lambda_N$.

Аналогічно можна довести, що для двоволоконного кільця WDM з загальним резервуванням та N вузлами, необхідно лише $[(N^2-1)/4]$ довжини хвилі. При великих кількостях N економія ресурсів досягає 50% у порівнянні з виділеним резервуванням та дозволяє відмовитися від застосування дорогих конверторів хвиль [6].

У загальному випадку, якщо трафік є довільним, то загальних формул для розподілу довжини хвиль немає. Тоді задачу розподілу ресурсів можна мінімізувати наступними методами:

- повний перебір. Навіть для невеликих мереж (наприклад, з п'яти вузлів) існує велика кількість конфігурацій;
- метод випробувань та помилок, при якому ОВ маршрутизуються та одночасно випадковим чином отримують визначені довжини хвиль. Подібні алгоритми характеризуються простою та посередньою якістю;
- евристичні алгоритми. На початку використовують прості методи для маршрутизації каналів, а потім розподіляють довжини хвиль за іншим критерієм, наприклад, використовуючи найбільш завантажену довжину хвилі, на якій ще можна включити канал;

На практиці алгоритм розподілу ресурсів вирішує задачу у два етапи:

- маршрутизація, на якій ОВ маршрутизуються по кільцю, наприклад, за часовою стрілкою для мінімізації загального числа задіяних довжин хвиль у кожному сегменті (без врахування неперервності довжини хвиль); передбачається, що перетворення довжини хвиль можливе;
- розподіл довжини хвиль за маршрутами, які обраховані на першому етапі.

На першому етапі отримуємо нижню оцінку числа необхідних довжин хвиль без врахування того, що при відсутності перетворення довжини хвиль навіть цей необхідний рівень може бути недосяжним. На другому етапі мета алгоритму – отримати розподіл довжини хвиль, який досягає нижньої оцінки.

У змішаній мережі WDM для маршрутизації довжини хвиль між вузлами можна використовувати оптичні переключення. По трактам WDM між вузлами можна передавати не більше заданого числа довжини хвиль по одному волокну. Щоб зменшити кількість ОВ або кількість одиниць обладнання WDM, трафік у змішаній мережі маршрутизується таким чином, щоб мінімізувати число довжини хвиль на тракті.

В процесі експлуатації якість функціонування мережі залежить від її гнучкості та ефективності, але в реальних мережах розподіл трафіка не передбачуваний. Таким чином, для реальної мережі характерним є динамічний розподіл трафіка за рахунок виключення оптичних каналів. Тоді, алгоритми маршрутизації та розподілу довжини хвиль в мережах з динамічним трафіком повинні володіти:

- високим коефіцієнтом використання ресурсів для завчасно невідомого навантаження;
- здібністю витримувати високий ступінь розподілу мережі;
- доступністю для використання систем управління мережами.
- послідовно та з однаковою імовірністю між вузлами кільця включають необхідні оптичні канали, які утворюють однорідну повнозв'язну модель трафіка;
- для включення оптичного каналу необхідно визначити вільну довжину хвилі. При цьому переприсвоєння довжини хвилі для трафіка в кільці дає змогу підвищити коефіцієнт використання кільця. Але на даному етапі розвитку технології WDM це потребує великих трудовитрат та призводить до перерв сеансів зв'язку. З цих причин переприсвоєння довжини хвилі не допускається;

- фрагментація трафіка виникає через виключення оптичних каналів. При цьому довжина хвилі, яку займав виключений канал, звільняється на відповідній секції кільця і може використовуватися для нового оптичного каналу, але тільки в тому випадку, якщо канал можна маршрутизувати через цю секцію кільця.

Розглянемо кілька алгоритмів маршрутизації оптичних каналів та розподілу довжини хвилі:

- найкоротшого шляху, тобто канал включається таким чином, щоб траса містила мінімальне число стрибків;
- мінімальної кількості довжини хвиль. Алгоритм прагне повністю використати дану довжину хвилі перед тим, як почати розподіляти нову, тобто використовує мінімальне число довжини хвиль, зберігаючи їх недоторканими, навіть за рахунок збільшення довжини трас оптичних каналів по кільцю.

Якщо ступіть фрагментації в кільцевій мережі WDM висока загальне резервування може призвести до зниження коефіцієнту використання. У свою чергу, кільця WDM з виділеним резервуванням характеризуються більш простими алгоритмами маршрутизації. Таким чином, перевага загального резервування над виділеним резервуванням за кількістю необхідних довжин хвиль нівелюється за рахунок пониженого коефіцієнта використання.

Отже, найважливішим завданням проектування сучасних мереж нового покоління є планування ресурсів. Оптимальний проект мережі передбачає розрахунок числа її елементів та розподілу довжини хвиль, виходячи із прогнозу трафіка, вартості, аналізу надійності та імовірно-часових характеристик мережі. Існують оптимальні схеми розподілу довжини хвиль з однаковим їх числом, як в системах з перетворенням. При цьому для двонаправленого кільця WDM з загальним резервуванням і N вузлами необхідно $[(N^2-1)/4]$ довжини хвилі, а для чотирьохволоконних кілець з розподіленим резервуванням і для двонаправлених без резервування необхідно $[(N^2-1)/8]$ довжини хвилі.

Для визначення розмірів кільця з захистом та розподілом ресурсів на рівні оптичної мільтиплексорної секції використовується двоступеневий алгоритм маршрутизації та розподіл довжини хвиль. Математичний аналіз показує, що при різних розподілах трафіка кільця оптичної мільтиплексорної секції мають однакові переваги за шириною смуги пропускання перед кільцями WDM з виділеним резервуванням. Кільця SDH із захистом та розподілом ресурсів так само мають переваги перед кільцями з захистом з'єднань підмережі. Перетворення довжини хвиль має переваги тільки за умови непередбаченості динамічного трафіка, особливо для великих значень коефіцієнта фрагментації.

Для кілець WDM з загальним резервуванням та динамічним трафіком іноді необхідно використовувати алгоритм найкоротшого шляху, який прагне виключити канал з мінімальним числом проміжних вузлів, займаючи в першу чергу найнижчі довжини хвиль. Цей алгоритм дає коефіцієнт використання кільця 70% при фрагментації мережі.

Таким чином, нові інтегральні мережені технології і нові технічні рішення дозволяють формувати нову архітектуру і топологію сучасної СЦІ мережі, а нові типові мережені шаблони – утворювати велику кількість топологічних рішень для побудови розгалуженої багаторівневої транспортної мережі необмеженого масштабу.

До недоліків технології WDM слід віднести відсутність належного методу управління мережею та забезпечення її функціонування. При впровадженні WDM, для існуючої СЦІ мережі необхідно буде придбати та замінити деякі мережені компоненти; вирішувати окремі технічні задачі, такі як довжина лінії, через застосування оптичних підсилювачів, які мають кінцеве співвідношення сигнал/шум, обмежена дозволим коефіцієнтом помилок.

Але головна перепона на шляху глобального впровадження технології WDM – невідповідність між різними мережами з точки зору адміністрування та виробництва. До сьогодні не розроблені стандарти взаємодії, які можуть забезпечувати сумісність обладнання WDM - технології різних виробників.

Використана література:

1. Мешковський К.А. Синхронные цифровые сети SDH (методическое пособие) МТУСИ ИПК М.-1999. -63с.
2. Бондаренко В.Г. Основні положення по застосуванню систем і апаратури синхронної цифрової ієрархії в мережі зв'язку. ДУІКТ К-2002, 84с.
3. Бондаренко В.Г. Технічна експлуатація сучасних цифрових мереж.//Радіоматор-2006 №2, с. 66-70.
4. Бондаренко В.Г. Современные технологии транспортных сетей связи // Радиоматор-2006 №12, с. 53-54.
5. Однорог П.М. Омецінська О.Б. Михацленко Є.В. під редакцією Катка В.Б. WDM видання третє. Київ-2005.
6. Руководящий технический материал по применению систем и аппаратуры синхронной цифровой иерархии на сети связи Российской Федерации. – М.: ЦНИИС, 1995.
7. Бондаренко В.Г. Слюсар В.О. Технічна експлуатація систем передавання СЦІ, К-2002, Зв'язок №1 с.50-51; №3 с.63-66.
8. Мешковський К.О. Бондаренко В.Г. Синхронні цифрові мережі СЦІ,ДКЗІ,ДУІКТ- Київ-2006-80с.
9. Гниденко Б.В. Математические методы в теории надежности /Б.В.Гниденко, Ю.К. Беляев, А.Д. Соловьев. – М.: Наука, 1965. – 524 с.
10. Бондаренко В.Г. Сучасні і майбутні інфокомунікаційні технології України: навч. пос. [для студ. вищ. навч. закл.] / В.Г. Бондаренко, В.О. Гребенніков. - К.: Радіоаматор, 2004. – 159 с.
11. Оптические стыки для многоканальных систем с оптическими усилителями: Рекомендация МСЭ-Т G.692. - Женева: МСЭ-Т, 1998. – 20 с.
12. Шаршаков А. WDM: успіхи и проблеми// Сети.- 1999. - №4.- с. 18-21.
13. Ефимушкин В.А. Планирование ресурсов в сетях WDM / В.А.Ефимушкин, И.М. Савандюков // Электросвязь. - 2008. - №1. – с. 45–48.
14. Hunter D.K., Marcenas D. Optimal Mesh Routing in Four-Fibre WDM Rings\\ Electronics Letters.- 1998.-Vol/34, №8. - p. 796 - 797.

КИЇВ 2009

К.О Мешковский, докт. техн. наук, професор

В.Г. Бондаренко, канд. техн. наук, професор

О.М. Біла

А.О. Чупенко

І.П. Павелко

Державний університет

інформаційно-комунікаційних

технологій, навчальний посібник

для студентів вищих навчальних

закладів за напрямком Телекомунікації

з дисциплін ЦСП, ТОТСМ, ТЕСЗ.

Київ 2009

Підписано до друку 30.06.2009

Формат 60x84x16. Папір друкарський

Друк офсетний. Обсяг 100 екз.