

## **Тема 22. Оптичні мережі. Технології синхронних оптичних мереж. Технології мереж DWDM**

*Оптичні мережі* – мережі побудовані на базі технологій, що використовують в якості середовища передачі даних волоконно-оптичний кабель.

### **22.1 Синхронні оптичні мережі**

*Синхронна цифрова ієрархія (SDH – Synchronous Digital Hierarchy, SONET)* – це система передачі даних, що базується на синхронізації за часом надсилаючого та приймаючого пристрою. Стандарти SDH визначають характеристики цифрових сигналів, включаючи структуру фреймів (циклів), метод мультиплексування, ієрархію цифрових швидкостей і кодові шаблони інтерфейсів і т.д.

#### **22.1.1 Інтерфейс**

Стандартизація інтерфейсів визначає можливість з'єднання різного обладнання різних виробників. Система SDH забезпечує універсальні стандарти для мережевих вузлових інтерфейсів, включаючи стандарти на рівні цифрових швидкостей, структуру фрейму, метод мультиплексування, лінійні інтерфейси, моніторинг і керування. Тому SDH обладнання різних виробників може легко з'єднуватися і встановлюватися в одній лінії, що найкращим чином демонструє системну сумісність.

Система SDH забезпечує стандартні рівні інформаційних структур, тобто набір стандартних швидкостей. Базовий рівень швидкості – STM-1 (155,52 Мбіт/с). Цифрові швидкості більш високих рівнів визначаються множенням швидкості потоку STM-1, відповідно, на 4, 16, 64 і т.д.: STM-4 (622 Мбіт/с), STM-16 (2,5 Гбіт/с), STM -64 (10 Гбіт/с) і STM-256 (40 Гбіт/с).

Лінійні (оптичні) інтерфейси працюють, використовуючи універсальні стандарти. Лінійний сигнал тільки скремблюється (scrambled – шифрувати, перемішувати), вставки надлишкового коду немає.

*Стандарт скремблювання* – універсальний. Тому і на прийомі, і на передачі повинні використовуватися стандартні скремблер і дескремблер. Мета скремблювання – зробити ймовірність виникнення «1» біта і «0» біта близької до 50% для полегшення вилучення синхросигналу з лінійного сигналу. Оскільки лінійний сигнал тільки скремблюється, лінійна швидкість сигналу SDH відповідає стандартній швидкості сигналу на електричному інтерфейсі SDH. Таким чином, споживання оптичної потужності, що передається лазерами залишається незмінним, проте, знижується їх тепловиділення (так як виключається можливість проходження великої кількості «1» поспіль), що збільшує їх ресурс. Ще однією причиною по якій використовується скремблювання – тривала послідовність «1» («0») автоматичною петлею регулювання підсилення сприймається як збільшення (зменшення) рівня вхідного сигналу, що може привести до неправильного регулювання.

### **22.1.2 Принцип роботи SDH**

Вся інформація в системі SDH передається в контейнерах. Контейнер являє собою структуровані дані, що передаються в системі. Якщо система генерує трафік, який потрібно передати по системі SDH, то дані так як і SDH спочатку структуруються в контейнери, а потім до контейнера додається заголовок і вказівники, в результаті утворюється синхронний транспортний модуль STM-1. По мережі контейнери STM-1 передаються в системі SDH різних рівнів (STM-n), але у всіх випадках розформований STM-1 може тільки об'єднуватися з іншим транспортним модулем, тобто має місце мультиплексування транспортних модулів.

Ще одне важливе поняття, безпосередньо пов'язане із загальним розумінням технології SDH – це поняття віртуального контейнера (VC). В результаті додавання до контейнера трактового (маршрутного) заголовка виходить віртуальний контейнер. Віртуальні контейнери знаходяться в ідеологічному і технологічному зв'язку з контейнерами, так що контейнеру

C-12 відповідає віртуальний контейнер VC-12, C-3 – VC-3, C-4 – контейнер VC-4.

Оскільки низькошвидкісні сигнали мультиплексуються в структуру фрейму високошвидкісних сигналів SDH за допомогою методу побайтового мультиплексування, їх розташування у фреймі високошвидкісного сигналу фіксоване і визначено або передбачуване. Тому низькошвидкісний сигнал SDH, наприклад 155 Мбіт/с (STM-1) може бути безпосередньо доданий або вилучено з високошвидкісного сигналу, наприклад 2.5 Гбіт/с (STM-16). Це спрощує процес мультиплексування і демультиплексування сигналу і робить SDH ієрархію особливо зручною для високошвидкісних волоконно-оптичних систем передачі, що володіють великою продуктивністю.

Оскільки прийнятий метод синхронного мультиплексування і гнучкого відображення структури, низькошвидкісні сигнали (наприклад, 2 Мбіт/с) також можуть бути мультиплексовані в сигнал SDH (STM-N). Їх розташування у фреймі STM-N також передбачувано. Тому низькошвидкісний трибутарний сигнал (64 кбіт/с) може бути безпосередньо доданий або вилучений з сигналу STM-N. Це усуває необхідність використання великої кількості обладнання мультиплексування/демультиплексування (взаємопов'язаного), підвищує надійність і зменшує ймовірність погіршення якості сигналу, знижує вартість, споживання потужності і складність обладнання. Додавання/виділення послуг в подальшому спрощується.

Цей метод мультиплексування допомагає виконувати функцію цифрової крос-комутації (DXC) і забезпечує мережу потужною функцією самовідновлення. Абонентів можна динамічно поєднувати відповідно до потреб і виконувати відстеження трафіку в реальному часі.

### **22.1.3 Оперування, адміністрування і технічне обслуговування**

Для функцій оперування, адміністрування і техобслуговування (OAM) в структурі фрейму сигналу SDH організовані численні біти. Це набагато полегшує функцію мережевого моніторингу, тобто автоматичне

техобслуговування. Кілька надлишкових біт повинні бути додані під час лінійного кодування для моніторингу робочих характеристик лінії, оскільки зовсім мало байт організовано в сигналі.

Численні заголовки в сигналах SDH становлять 1/20 від загальної кількості байт у фреймі. Це набагато полегшує функцію OAM, таким чином знизивши системи техобслуговування, що дуже важливо, так як вона становить значну частину від загальної вартості обладнання.

#### **22.1.4 Сумісність**

SDH має високу сумісність. Це означає, що мережа передачі SDH і існуюча мережа можуть працювати спільно, поки йде встановлення мережі передачі SDH. Мережа SDH може бути використана для передачі послуг, а також сигналів інших ієрархій, таких як ATM, Ethernet і FDDI.

Базовий транспортний модуль (STM-1) може розміщувати різні типисигналів. Це обумовлює двосторонню сумісність і гарантує безперебійний перехід від певного типу мережі до мережі SDH і навпаки. Для розміщення сигналів цих ієрархій SDH мультиплексує низькошвидкісні сигнали різних ієрархій в структуру фрейма STM-1 сигналу на межі мережі (стартова точка – точка входу) і потім демультиплексує їх на межі мережі (кінцева точка – точка виходу). Таким чином цифрові сигнали різних ієрархій можуть бути передані по мережі передачі SDH.

#### **22.1.5 Захист**

У системах SDH термін «захист» використовується для опису способу підвищення надійності мережі. Для цього всі мережі SDH намагаються будувати у вигляді замкнутих кілець, передача по яких ведеться одночасно в обох напрямках. При цьому в разі пошкодження кабелю мережа продовжує працювати.

Зворотною стороною такого підвищення надійності є зменшення кількості резервних оптичних волокон в кабелях мережі.

## 22.2 Технології мереж DWDM

*DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing)* – щільне мультиплексування з поділом по довжині хвилі.

Відстань між несучими сигналами в DWDM-системах може становити 25 – 200 ГГц, в сучасних мережах найбільш часто використовується сітка каналів з кроком 50 ГГц. Для передачі використовуються спектральні діапазони C (1530..1565 нм), S (1460..1530 нм) і L (1565..1625 нм).

Ємність DWDM-системи розраховується за формулою:

Переваги DWDM:

- висока пропускна здатність;
- можливість значного розширення ємності, масштабування мережі;
- передача трафіку широкого спектру рішень, від систем IP до обладнання SDH та інших;
- поєднана гнучкість керування щодо низькошвидкісних каналів зі швидкісною передачею гігабітних потоків в основних магістралях;
- надійність та відмовостійкість;
- можливість передачі великих об'ємів даних на далекі відстані.

Спектральне ущільнення каналів передачі, або ущільнення за довжинами хвиль (*Wavelength Division Multiplexing, WDM*) – технологія, яка дає змогу одночасно передавати декілька незалежних інформаційних каналів оптичним волокном, використовуючи оптичні несучі сигнали з різними довжинами хвиль. Технологія WDM дає змогу істотно збільшити пропускну здатність оптичного волокна за рахунок використання всієї його оптичної смуги пропускання.

Характерною особливістю і суттєвою перевагою WDM технології є можливість реалізації в одному оптичному волокні великої кількості оптично прозорих каналів, в кожному з яких можна вести передачу сигналів з будь-яким форматом. Таким чином, одним оптичним волокном можна одночасно передавати синхронні, асинхронні і аналогові сигнали, і немає

потреби в єдиній структурі сигналів, як це є, наприклад, в системах із часовим ущільненням каналів передачі.

### **22.2.1 Принцип роботи систем із спектральним ущільненням**

В системах передачі даних з ущільненням каналів за довжинами хвиль просторово розділені оптичні несучі сигнали різних довжин хвиль, які модулюються незалежними інформаційними сигналами, з допомогою спеціальних пристроїв – оптичних мультиплексорів – об'єднуються в один єдиний оптичний потік, який далі подається на оптичне волокно. На приймаючій стороні використовується оптичний демультимплексор, який розділяє прийнятий оптичний пучок на спектральні складові, або оптичні канали.

Для об'єднання і розділення спектральних каналів використовуються волоконно-оптичні розгалужувачі – оптичні мультиплексори і демультимплексор. Спектрально-селективне ущільнення характеризується малими втратами в порівнянні з широкосмуговим, оскільки вся потужність оптичного сигналу переноситься на своїй довжині хвилі по своєму шляху. В реальних системах із спектрально-селективним ущільненням каналів оптичні каналні втрати визначаються в основному втратами, які проходять на з'єднаннях волокон та в оптичних мультиплексорах і демультимплексорах.

При широкосмуговому ущільненні потужності оптичних сигналів з різними довжинами хвиль просто об'єднуються. Оскільки в цьому випадку використовують неселективний демультимплексор, то вся передана по волокну оптична потужність порівну розділяється між всіма каналами. Після демультимплексування в кожному оптичному каналі міститься деяка частина потужності всіх оптичних сигналів. Для виділення відповідного сигналу на виході демультимплексора використовують оптичні каналні фільтри. Таким чином, у системах із широкосмуговим ущільненням каналів передачі величина оптичних каналних втрат буде додатково залежати від числа каналів.

В сучасних системах передачі даних використовується переважно спектрально-селективне ущільнення, яке характеризується найменшими оптичними втратами. Широкосмугове ущільнення також використовується в деяких системах зв'язку з малим числом каналів, зокрема в системах дуплексного зв'язку.