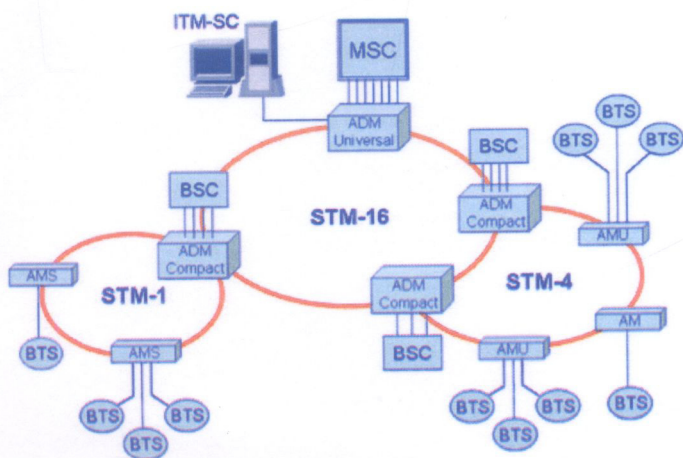


О. О. Дрючин, В. М. Кичак, М. Л. Мінов

ОПТИЧНІ ТРАНСПОРТНІ МЕРЕЖІ СИНХРОННА ЦИФРОВА ІЄРАРХІЯ



Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

О. О. Дрючин, В. М. Кичак, М. Л. Мінов

ОПТИЧНІ ТРАНСПОРТНІ МЕРЕЖІ СИНХРОННА ЦИФРОВА ІЄРАРХІЯ

Навчальний посібник

Вінниця
ВНТУ
2017

УДК 621.372.2 (075)

ББК 32.886я73

Д78

Рекомендовано до друку Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол № 9 від 25.04.2013 р.)

Рецензенти:

О. М. Шинкарук, доктор технічних наук, професор

В. Ю. Кучерук, доктор технічних наук, професор

А. Г. Ложковський, доктор технічних наук, професор

Дрючин, О. О.

Д78 Оптичні транспортні мережі. Синхронна цифрова ієрархія : навчальний посібник / О. О. Дрючин, В. М. Кичак, М. Л. Мінов. – Вінниця : ВНТУ, 2017. – 94 с.

У навчальному посібнику послідовно наведено основні принципи побудови та використання волоконно-цифрових систем передавання, які належать до синхронної цифрової ієрархії SDH. Розглянуті основи побудови SDH, основні функціональні та структурні модулі, а також принципи керування в оптичних транспортних мережах.

Призначений для студентів спеціальності “Телекомунікаційні системи та мережі”.

УДК 621.372.23

ББК 32.886

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ.....	5
ВСТУП.....	27
1 ЦИФРОВІ КАНАЛИ ТА ІЄРАРХІЇ СИСТЕМ ЗВ'ЯЗКУ.....	28
1.1 Особливості каналів зв'язку.....	28
1.2 Часове мультиплексування.....	29
1.3 Основні операції при перетвореннях цифрових мереж.....	30
1.4 Особливості PDH ієраrchії.....	31
1.5 Особливості ієраrchії SDH.....	33
2 МУЛЬТИПЛЕКСУВАННЯ В SDH.....	36
2.1 Схема мультиплексування в SDH.....	36
2.2 Детальна схема мультиплексування в SDH.....	36
2.3 Структура фрейму STM.....	40
2.4 Структура заголовка SOH.....	43
2.5 Складання модулів STM-N.....	44
2.6 Особливості SDH в радіорелейному зв'язку.....	46
3 ФУНКЦІОНАЛЬНА СТРУКТУРА SDH.....	49
3.1 Функціональні модулі SDH.....	49
3.2 Основні функції мультиплексора.....	50
3.3 Основні функції крос-комутатора.....	52
3.4 Функції комутатора.....	52
4 ТОПОЛОГІЇ ТА АРХІТЕКТУРА SDH.....	55
4.1 Базові топології SDH.....	55
4.2 Функціональні способи захисту в мережах SDH.....	57
4.3 Архітектура мережі SDH.....	58
4.4 Спряження SDH з іншими мережами.....	61
4.5 Особливості обладнання мереж SDH.....	62
4.6 Приклад розробки мережі SDH.....	63
5 КЕРУВАННЯ В МЕРЕЖАХ SDH.....	66
5.1 Чотирирівнева модель керування мережею.....	66
5.2 Архітектура TMN.....	67
5.3 Інформаційний аспект архітектури TMN.....	71
5.4 Загальні аспекти архітектури TMN.....	72
5.5 Протоколи TMN.....	73
5.6 Реалізація функцій керування.....	75
6 СИНХРОНІЗАЦІЯ В МЕРЕЖАХ SDH.....	78
6.1 Джерела синхронізації.....	78
6.2 Методи синхронізації.....	78

6.3	Режими роботи і якість хронуючого джерела.....	79
6.4	Використання світового скоординованого часу.....	81
6.5	Приклад синхронізації кільцевої мережі SDH.....	81
6.6	Приклад синхронізації комірчастої мережі SDH.....	83
	СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	86

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ

Латинські скорочення

10/100BASE-XX – мережа Ethernet з автоматичним перемиканням швидкості передачі 10/100 Мбіт/с, що використовує технологію IEEE 802.14;

100VG-Any LAN – мережа швидкого Ethernet (100 Мбіт/с), що використовує стандарт IEEE 802.12;

1b2b – 1B2B – широко використовуваний окремий випадок класу блокових кодів, в якому 1 біт початкової ІКМ послідовності тривалістю Т кодується комбінацією з 2 біт тривалістю Т/2;

2M – 2 Мбіт/с трибний інтерфейсний блок без термінального адаптера (апаратура компанії Nokia);

2MTA – 2 Мбіт/с трибний інтерфейсний блок з термінальним адаптером (апаратура компанії Nokia);

A – Agent – агент. Опорна точка (вхід/вихід волокна) в схемі подання регенераторної секції;

AA – Area Adress – адреса області (поле в структурі адреси NS AP);

ACK – Acknowledgement – підтвердження (наприклад, підтвердження прийому повідомлення);

ACSE – Association Control Service Element – сервісний елемент асоційованого керування;

ADI – Alternate Digit Inversion – код, що порозрядно чергується інверсією;

ADM – Add/Drop Multiplexer – мультиплексор входу/виходу;

AFI – Authority and Format Identifier – ідентифікатор повноважень і формату (АІФ), (поле в структурі адреси NS AP);

AIS – Alarm Indication Signal – сигнал індикації аварійного стану;

AITS – Acknowledged Information Transfer Service – сервіс: передача інформації з підтвердженням прийому;

AMI – Alternate Mark Inversion code – двійковий код із зміною полярності сигналу на кожній одиниці, нуль передається відсутністю сигналу, а результаті формується двополярний тривірневий код;

AMM – Asynchronous Mapping Mode – асинхронний режим відображень;

ANSI – American National Standards Institute – Американський національний інститут стандартів;

APS – Automatic Protection Switch – автоматичне захисне перемикання (на резервний блок-шлях);

ARCNET – ARCnet – Attached Resources Computer/Computing Network –

мережа ARCnet – локальна вичислювальна мережа з підключеними ресурсами;

ASE – Application Service Element – сервісний елемент прикладного рівня;

ASN.1 – Abstract Syntax Notation One – нотація абстрактного синтаксису -1;

ATM – Asynchronous Transfer Mode – режим асинхронної передачі;

AU – Administrative Unit – адміністративний блок;

AU-n – Administrative Unit – адміністративний блок рівня n (n=3,4);

AU PTR – Administrative Unit Pointer – покажчик адміністративного блока;

AU – Administrative Unit 3 – адміністративний блок трьох рівнів;

AU-4 – Administrative Unit 4 – адміністративний блок чотирьох рівнів;

AU-4Xc – адміністративний блок чотирьох рівнів, але збільшений в X разів (X – коефіцієнт кратності) розміру, використовуваний для транспортування корисного навантаження, що не поміщається в один AU-4;

AUG – Administrative Unit Group – група адміністративних блоків;

AUX – Auxiliary – блок для зовнішніх підключень;

B – сигнал вставки, що використовується при описі схем кодування;

B-ISDN – Broadband ISDN – широкосмугова ISDN (Ш-ЦСИО);

B1,2,3 – стеки протоколів B1, B2, B3, описані в ранніх версіях стандарту G.773;

B3ZS – Bipolar with 3-Zero Substitution – біполярний код із заміною 3-х нулів спеціальною кодовою комбінацією;

B4Z8 – Bipolar with 4-Zero Substitution – біполярний код із заміною 4-х нулів спеціальної кодової комбінації;

B6ZS – Bipolar with 6-Zero Substitution – біполярний код із заміною 6-х нулів спеціальної кодової комбінації;

B8ZS – Bipolar with 8-Zero Substitution – біполярний код із заміною 8-х нулів спеціальної кодової комбінації

BBE – Background Block Error – блок з фоновими помилками;

BBER – Background Block Error Ratio – коефіцієнт помилок по блоках з фоновими помилками;

BBU – Bus Bridge Unit – блок зв'язку з внутрішньою шиною;

BE – Block Error – блок з помилками;

BIP – Bit interleaved Parity – парність бітів, що чергуються, перевірка на парність, використовувана в кадрах (фреймах), складених за схемою з бітами, що чергуються;

BIP-8 – Bit interleaved Parity – Octet парність біт, що чергуються з полем в один байт (SMOS);

BIP-N – **BIPN** – Bit Interleaved Parity – N fields – парність бітів, що чергуються, з полем в N біт (або глибини N);

BNC – Bayonet–NelH–Concetma – роз'єм типу байонет, використовуваний для з'єднувачів фіксууючого типу одножильних електричних кабелів;

BOS – Business Operations System – система управління економічною ефективністю мережі;

BSMM – Byte–Synchronous Mapping Mode – байт–синхронний режим відображення;

BSU – Bus Supply Unit блок живлення внутрішньої шини;

C – Контейнер – початковий елемент структури мультиплексування SDH. Опорна точка (вхід/вихід RST–кінцевий) в схемі подання регенераторної секції. Сигнал інверсії, використовуваний в описі схем кодування САД;

C&A – Control & Alarm – управління і аварійна сигналізація;

C-1 – Container of level 1 – контейнер першого рівня, служить для розміщення первинного цифрового каналу 1,5/2 Мбіт/с;

C-11– Container of level 11 – контейнер першого рівня американської схеми PDM ієрархії, служить для розміщення первинного цифрового каналу 1,5 Мбіт/с;

C-12 – Container of level 12 – контейнер першого рівня європейської схеми PDH ієрархії, служить для розміщення первинного цифрового каналу 2 Мбіт/с;

C-2– Container of level 2 – контейнер другого рівня, служить для розміщення вторинного цифрового каналу 6 Мбіт/с;

C-3 – Container of level 3 – контейнер третього рівня, служить для розміщенні третинного цифрового каналу 34/45 Мбіт/с;

C-4– Container of level 4 – контейнер четвертого рівня, служить для розміщення четвертинного цифрового каналу 140 Мбіт/с;

C-n – Container – C-1,2,3,4 – контейнер рівня n = 1, 2, 3 і 4;

CAS – Channel–Associated Signaling – внутрішньоканальна сигналізація;

CCIR – Consultative Committee on International Radiocommunicattons – Міжнародний консультативний комітет з радіо і телебачення (МККРТ);

CCITT – Consultative Committee on Internationa! Telephony and Telegraphy або The International Telegraph and Telephone Consultative Committee - Міжнародний консультативний комітет з телеграфії і телефонії (МККТТ);

CCS – Common Channel Signaling – сигналізація по загальному каналу;

CCU – Central Clock Unit – блок центрального генератора синхросигналу ;

CD – Collision Detection – виявлення зіткнень;

CEPT – Committee European de Post et Telegraph або Conference of European Post end Telecommunications Administrations - Об'єднання Європейських адміністрацій пошти і зв'язку. Об'єднання Європейських поштових адміністрацій;

CEPT Format – 30 ТЧ каналів + 1 канал для сигналізації + 1 канал для кадрової синхронізації;

CEPTn – CEPTn system (n-1,2,3,4) – європейська система класифікації ієрархії каналів, яка збігається з системою E1-E2-E3-E4;

CLK – clk – Clock – сигнал синхронізації, таймер;

CLM – Connectionless Mode – режим без встановлення з'єднання;

CLNP – Connectionless Network Layer Protocol – мережевий протокол режиму без встановлення з'єднання;

CLNS – Connectionless-mode Network (layer) Service – мережевий сервіс режиму без встановлення з'єднання;

CLNS1 – Протокол повного набору протоколів, що використовується замість протоколу B2 (див. CLNS);

CLNS2 – Протокол повного набору протоколів, що використовується замість протоколу B3 (див. CLNS);

CM – Connection Mode – режим зі встановленням з'єднання;

CMB – CRC Message Block – кодова група (повідомлення) коду CRC;

CMI – Coded Mark Inversion code – дворівневий двійковий код без повернення до нуля із зміною полярності на повний інтервал з кожної «1» і зміни полярності в середині кожного "0"-го інтервалу.

CMIP – Common Management Information Protocol – загальний протокол інформації, що керує;

CMIS – Common Management Information Service – загальний протокол інформації, що керує;

CMISE – Common Management information Service Element – сервісний елемент загальної керованої інформації;

CMU – Connection Matrix Unit – блок зв'язку з матричною комутацією;

COMM – Communications – система зв'язку з елементом менеджером або NMS, що використовує Q-інтерфейс;

CONP – Connection Oriented Network-layer Protocol – мережевий протокол режиму зі встановленням з'єднання;

CONS – Connection-Oriented-mode Network Service – мережевий сервіс режиму зі встановленням з'єднання;

CONS1 – протокол повного стеку протоколів, використовуваний замість протоколу B1 (див. CONS);

CRC – Cyclic Redundancy Check – циклічний надмірний код, що використовується для перевірки правильності переданого блока даних;

CSES – Consecutive Severely Errored Seconds – послідовні секунди з серйозними помилками;

CSMA – Carrier Sence Multiple Access – множинний доступ з контролем несучої;

CT – Craft Terminal – крафт-термінал – переносний PC або ноутбук PC, що використовується як елемент-менеджера;

CU – Control Unit or Control and synchronization Unit – блок керування або блок керування і синхронізації (апаратура компанії Nokia);

CV – Code Violation – порушення регулярної кодової послідовності;

D1 – 24-канальна система з вихідним потоком $T1=1544$ кбіт/с компанії Bell;

D2 – 24-канальна система, модифікація D1, описана в ITU-T Rec. G.733 (Bell);

DAD – Draft Addendum - запропоноване (для голосування в комітеті) розширення стандарту.

DATA – Data - дані або потік даних;

dBm – рівень потужності в децибелах, що перевищує потужність 1 мват;

DCC – Data Communications Channel – службовий канал передачі даних - в SONET/SDH: канал зв'язку, або формуючі його байти D1-D12, відповідні частини заголовку SOH фрейму STM-N;

DCC₆₄ – Data Communication Channel 64 kbps – (службовий) канал передачі даних, що використовується (для мереж SDH) 1 байт заголовка SOH, швидкість передачі 64 кбіт/с;

DCC_M – Data Communication Channel for Multiplex section – (службовий) канал передачі даних для мультиплексної секції SDH мережі, байти SOH D4-D12, швидкість передачі 578 кбіт/с;

DCC_R – Data Communication Channel for Regenerator section – (службовий) канал передачі даних для регенераторної секції SDH мережі, байти SOH D1-D3, швидкість передачі 192 кбіт/с;

DCE – Data Circuit Terminating Equipment – апаратура закінчення каналу даних (АКД);

DCF – Data Communications Function – функція передачі даних;

DCN – Data Communications Network – мережа передачі даних;

DH – Hybrid Data (unit) – гібридний блок даних (апаратура компанії Nokia);

DPRS – Distributed Primary Reference Source – розподілене первинне еталонне джерело;

DS0 – DS-0 - Digital Service/Signal of level 0 – цифровий сервіс-сигнал нульового рівня зі швидкістю 64 кбіт/с загальний як для американської, так і європейської цифрових ієрархій, відомий у нас як Base Rate Digital Signal - **основний цифровий канал** (ОЦК);

DS1 – DS-1 – Digital Signal of level 1 – цифровий сигнал першого рівня або **первинний цифровий канал** зі швидкістю 1,544 Мбіт/с для американської

ієрархії, якому відповідає в європейській ієрархії первинний цифровий канал зі швидкістю 2,048 Мбіт/с;

DS2 – DS-2 – Digital Signal of level 2 – цифровий сигнал другого рівня або **вторинний цифровий канал** зі швидкістю 6,312 Мбіт/с для американської ієрархії, якому відповідає в європейській ієрархії вторинний цифровий канал зі швидкістю 8,448 Мбіт/с;

DS3 – DS-3 – Digital Signal of level 3 – цифровий сигнал третього рівня або **третинний цифровий канал** зі швидкістю 44,756 Мбіт/с для американської ієрархії, якому відповідає в європейській ієрархії третинний цифровий канал зі швидкістю 34,368 Мбіт/с;

DS4 – DS-4 – Digital Signal of level 4 – цифровий сигнал четвертого рівня або **четвертинний цифровий канал** зі швидкістю 274,176 Мбіт/с для американської ієрархії (який формально не був специфікований ІТУ-Т), йому відповідає в європейській ієрархії четвертинний цифровий канал зі швидкістю 139,264 Мбіт/с;

DSJ3 – цифровий канал 3-го рівня Японської ієрархії PDH;

DSJ4 – цифровий канал 4-го рівня Японської ієрархії PDH;

DSP – Domain Specific Part – специфічна частина домена (займає три поля в структурі адреси NSAP)

DTE – Data Terminal Equipment – кінцеве устаткування даних (КУД);

DTMF – Dual-Tone Multifrequency/ Dual-Tone Modulated Frequency – двотоновий багаточастотний набір (тональний набір) - тональний сигнал, що генерується модемом, який викликає або DTMF телефоном (телефоном з генератором DTMF) при наборі номера. DTMF сигналізація;

DWDM – Dense Wavelength Division Multiplexing – високощільне мультиплексування з розділенням по довжинах хвиль;

DXC – Digital Cross-Connect – цифровий комутатор/крос-комутатор;

DXI – Data Exchange Interface – інтерфейс обміну даними (між АТМ і LAN);

E1 – первинний канал 2048 кбіт/с, що відповідає першому рівню в європейській версії PDH;

E2 – вторинний канал 8448 кбіт/с, що відповідає другому рівню в європейській версії PDH;

E3 – третинний канал 34,388 кбіт/с, що відповідає третьому рівню в європейській версії PDH;

E4 – четвертинний канал 139,264 кбіт/с, що відповідає четвертому рівню в європейській версії PDH;

EA, EB – East A, East B – лінійні агрегатні блоки "східного" напрямку: основний (A) і резервний (B);

EB – Errored Block – блок з помилками;

ECC – Embedded Control Channel – вбудований канал керування;

EDC – Error Detection Code – код виявлення помилок;

EIA – Electronic Industries Association – Асоціація електронної промисловості США;

EM – Element Manager – елемент-менеджер - система керування мережевим елементом;

ENM – eNM – ECI Network Manager – мережевий менеджер компанії ECI;

EOC – Embedded Operations Channel – вбудований канал керування;

EOS – Element Operations System – система керування елементом мережі;

EOW – Engineering Order Wire/Wiring – службовий (цифровий) канал;

EPPI 140M – фізичний інтерфейс PDH 140 Мбіт/с (апаратура компанії Nokia);

EPPI 2M – фізичний інтерфейс PDH 2 Мбіт/с (апаратура компанії Nokia);

ES – End System – кінцева система. Errored Second – секунда з помилками;

ES-IS – End System-to-Intermediate System – протокол зв'язку (взаємодії) кінцевої системи з проміжною системою;

ESR – Errored Second Ratio – коефіцієнт помилок по секундах з помилками;

Ethernet – локальна мережа, що використовує стандарт IEEE 802.3 – CSMA/CD;

ETSI – European Telecommunications Standarts institute – Європейський інститут стандартів в області зв'язку;

EXC – Exc – Excessive errors – занадто багато помилок;

F – інтерфейс для підключення DCN до робочої станції елемент-менеджер, відповідає опорній точці f;

f – опорна точка мережі TMN для підключення блоків WSP до OSF і/або до MF;

FAS – Frame Alignment Signal - сигнал вирівнювання (синхронізації) фрейма;

Fast Ethernet – локальна мережа, що використовує технологію швидкого Ethernet (100 Мбіт/с);

FC – Fiber optic Connector – з'єднувач для ВОК;

FDDI – Fiber Distributed Data Interface – локальна мережа на основі стандарту FDDI (100 Мбіт/с), що використовує ВОК середовище розповсюдження;

FE1 – Fractional E1 – $n \cdot 64$ кбіт/с канал (де $n = 2, \dots, 31$);

FEBE – Far-End Block Error – блок з помилками на видаленому кінці;

FERF – Far End Receive Failure – збій при прийомі на видаленому кінці;

FLC – Fiber Loop Converter – перетворювач для абонентської лінії, що використовує BOK;

Frame Relay – ретрансляція кадрів – технологія глобальних мереж;

FS – Fixed Stuff – фіксований наповнювач – порожнє поле з фіксованим положенням всередині фрейма;

FTAM – File Transfer, Access and Management – протокол передачі файлу, дистанційного доступу і менеджменту;

FU – Functional Unit – функціональний блок;

g – опорна точка мережі TMN між WSF і користувачем;

GNE – Gateway Network Element – шлюзовий елемент мережі;

GPS – Global Positioning System – глобальна система позиціонування (об'єкта);

H – Hub – концентратор;

H0 – ISDN channel 384 kbps – канал ISDN, що реалізується як кратний B-канал, тобто як канал $n \cdot 64$ кбіт/с;

H1 – ISDN High bit rate channel 1 – високошвидкісний канал ISDN, що розділяється на H11 і H12;

H11 – ISDN канал 1,544 Мбіт/с, те ж, що і T-1 (для Америки і Японії);

H12 – ISDN канал 1,920 Мбіт/с, те ж, що і E1 (для Європи);

H21 – ISDN канал 34 Мбіт/с, те ж, що і E3 (для Європи);

H22 – ISDN канал 45 Мбіт/с, те ж, що і T3 (для Америки);

H4 – ISDN канал 135 Мбіт/с (аналог J4) для пакетизованої передачі. Індикатор положення навантаження – байт в заголовку POH віртуального контейнера верхнього рівня;

HCS – Higher order Connection Supervision – контроль з'єднань на рівні віртуальних контейнерів верхнього рівня;

HDB2 – High-Density Bipolar code of order 2 – двополярний код високої щільності порядку 2;

HDB3 – High-Density Bipolar code of order 3 – двополярний код високої щільності порядку 3;

HMA – Human-Machine Adaptation - людино-машинна адаптація;

HOA – Higher Order Assembler – зборка VC верхнього рівня;

HOI – Higher Order Interface – інтерфейс збірки VC верхнього рівня;

HPA – Higher Order Path Adaptation – адаптація до маршруту VC верхнього рівня;

HPC – Higher Order Path Connection – з'єднання декількох VC верхнього рівня;

HPOM – Higher Order Path Overhead Monitor – моніторинг POH VC верхнього рівня;

HP – Hewlett Packard Corporation – компанія – виробник комп'ютерів, мережевого устаткування і програмного забезпечення;

HPT – Higher Order Path Overhead Termination – початок/закінчення маршруту VC верхнього рівня;

HUG – Higher Order Unequipped Generator – генератор незавантаженого VC верхнього рівня;

I – позначення стандартної внутрішньостанційної регенераторної секції;

ICF – Information Conversion Function – функція перетворення інформації;

IDI – Initial Domain Identifier – початковий ідентифікатор домена (OSI, Network Layer, поле в структурі NSAP адреси);

IDP – Initial Domain Part – початкова частина домена (займає два поля в структурі адреси NSAP);

IEC – International Electrotechnical Commission – Міжнародна електротехнічна комісія (МЕК);

IFU – Interworking Functional Unit – функціональний блок взаємодії;

IP – Interworking Protocol – протокол взаємодії;

IS – Intermediate System – проміжна система;

IS-IS – Intermediate System-to-Intermediate System – протокол зв'язку між проміжними системами;

ISDN – Integrated Services Digital Network – цифрова мережа інтегрованого обслуговування (ЦСІО);

ISM – In-service Monitoring – моніторинг в процесі обслуговування.

Intelligent Synchronous Multiplexer – інтелектуальний синхронний мультиплексор;

ISO – International Organization for Standardization – Міжнародна організація зі стандартизації;

ISUP – ISDN User Part – користувацька частина ISDN – протокол керування викликами, що передає інформацію керування викликом між вузлами мережі, що підтримують сигналізацію SS7 (ОКС-7);

ITU – International Telecommunication Union – Міжнародний союз електрозв'язку;

ITU-T – International Telecommunication Union – Telecommunication Standardization – Міжнародний союз електрозв'язку – Сектор стандартизації;

IWU – Interworking Unit – блок взаємодії;

J2 – один із заголовків мультифрейму;

JCB – (subframe) Justification Control Bit – біт керування вирівнюванням (субфрейму);

JOB – (subframe) Justification Opportunity Bit – біт можливого вирівнювання (субфрейму);

L – позначення стандартної довгої міжстанційної регенераторної секції;

LAN – Local Area Network – локальна (обчислювальна) мережа ЛВС або ЛС;

LAPD – Link Access Procedure for the D channel – протокол доступу до ділянки даних для D каналу;

LBA – Lightwave Booster Amplifier – оптичний підсилювач (те ж, що і ОВА);

LCN – Local Communications Network – локальна мережа зв'язку;

LCS – Lower order Connection Supervision – контроль з'єднань VC нижнього рівня;

LED – Light Emission Diode – світлодіод;

LFA – Loss of Frame Alignment – втрата вирівнювання синхронізації фрейму;

LNC – Local Node Clock – таймер локального (місцевого) вузла;

LOF – Loss Of Frame – втрата фрейму;

LOI – Lower Order Interface – інтерфейс складення VC нижнього рівня;

LOM – Less Of Multiframe – втрата мультифрейму;

LOP – Loss Of Painter – втрата покажчика;

LOS – Loss Of Signal – втрата сигналу;

LPA – Lower order Path Adaptation – адаптація до маршруту VC нижнього рівня;

LPC – Lower order Path Connection – з'єднання декількох VC нижнього рівня;

LPOM – Lower order Path Overhead Monitor – моніторинг РОН VC нижнього рівня;

LPR – Local Primary Reference – локальний первинний еталон;

LPT – Lower order Path Termination – початок/закінчення маршруту VC нижнього рівня;

LR – Line Regenerator – лінійний регенератор;

LTI – Loss of Timing Inputs – втрата синхронізації на вході;

LUG – Lower order Unequipped Generator – генерація незавантаженого VC нижнього рівня;

LXC – Local Cross-Connect – локальний крос-комутатор;

M – Manager – менеджер;

m – опорна точка мережі TMN між QAF і керованим об'єктом;

MAF – Management Application Function – функція керувального додатка;

MAN – Metropolitan Area Network – загальноміська мережа (ЗММ);

mbnb – mBnB – загальне позначення класу блокових кодів – де **m** – довжина (у бітах) блоків, на які розбивається початкова ІКМ послідовність, а **n** – відповідна їм довжина (у бітах) блоків, складених з кодових символів;

MCF – Message Communications Function – функція передачі повідомлення;

MCI – MCU Connection Interface – інтерфейс зв'язку з MCU;

MFS – Multiframe Synchronization – синхронізація мультiframe;

MIB – Management Information Base – база керуваної інформації;

MO – Managed Object – керований об'єкт;

MOC – Managed Object Class – клас керованих об'єктів;

MRS – Microwave Radio System – радіорелейна система;

MS – Multiplex Section – мультиплексна секція;

MSA – Multiplex Section Adaptation – адаптація на рівні мультиплексної секції;

MSOH – Multiplex Section Overhead – заголовок мультиплексної секції;

MSP – Multiplex Section Protection – захист мультиплексної секції;

MST – Multiplex Section Termination – початок/закінчення мультиплексної секції;

MTP – Message Transfer Part – частина, відповідальна за передачу повідомлень – перші три рівні SS7 (OKC-7);

MUX – Multiplexer – мультиплексор;

N – опорна точка каналу DCC для регенераторної секції;

nBmB – тип лінійного коду, те ж, що і mBnB;

NDF – New Data Flag – прапорець нових даних;

NE – Network Element – мережевий елемент;

NEF – Network Element Function – функція мережевого елементу;

NLR – Network Layer Relay – ретрансляція на мережевому рівні;

NM – Network Manager – мережевий менеджер – система керування мережею в цілому. Node Manager – вузловий менеджер – система керування вузлом мережі (те ж, що і EM);

NMS – Network Management System – система керування мережею/система адміністративного управління мережею;

NNE – Non-SDH Network Element – елемент, що не є частиною мережі SDH;

NOS – Network Operating System – мережева операційна система (система керування локальною комп'ютерною мережею). Network Operations System – система керування мережею/система, що оперує на мережі (система керування телекомунікаційною мережею);

NPDU – Network Protocol Data Unit – мережевий протокольний блок даних;

NPI – Null Pointer Indicator – поле індикації нульового покажчика;

NRZ – Non Return to Zero – однополярний/двополярний код без повернення до нуля;

NS – Network Service – мережевий сервіс;

NSAP – Network Service Access Point – точка (вузол) доступу мережевого сервісу – точка/вузол доступу до служби OSI на мережевому рівні (SS7), див. SAP;

NSEL – Network Selection – вибір мережі – останнє поле адреси NSAP;

OAI – Overhead Access Interface – інтерфейс доступу до (секційного) заголовка SOH;

OAM&P – Operation, Administration, Maintenance and Provisioning – експлуатація, адміністрування, обслуговування і забезпечення (функції і сервіс);

OAU – Overhead Access Unit – блок доступу до (секційного) заголовка SOH;

OBA – Optical Booster Amplifier – вихідний оптичний підсилювач;

OC – Optical Carrier – оптична, несуча (див. також OC-n);

OC-1 – OC1 – OC-1/STS-1 – Optical Carrier of level 1 – оптична несуча першого рівня ієрархії SONET – 51,84 Мбіт/с;

OC-12 – OC12 – OC12/STS-12 – Optical Carrier of level 12 – оптична несуча 12-го рівня ієрархії SONET – 622,08 Мбіт/с – те ж, що і STM-4 для SDH;

OC-192 – OC192 – OC-192/STS-192 – Optical Carrier Of level 192 – оптична несуча 192-го рівня ієрархії SONET – 9953,28 Мбіт/с – те ж, що і STM-64 в SDH;n

OC-3 – OC3 – OC-3/STS-3 – Optical Carrier of level 3 – оптична несуча третього рівня ієрархії SONET – 155.52 Мбіт/с – те ж, що і STM-1 для SDH;

OC-48 – OC48 – OC-48/STS-48 – Optical Carrier of level 48 – оптична несуча 48-го рівня ієрархії SONET – 2488,32 Мбіт/с – те ж, що і STM-16 для SDH;

OC-n – OCn – OC-n/STS-n – Optical Carrier of level n – оптична несуча n-го рівня ієрархії SONET – n x 51,84 Мбіт/с;

OFS – Out of Frame Second – секунда, що містить сигнал OOF – "вихід за межі фрейма";

OH – Overhead – заголовок;

ОНА – Overhead Access/Overhead Access Function – доступ до заголовка або функція доступу до заголовка;

ОНС – Overhead Channel – канал зв'язку заголовка;

OOF – Out Of Frame – вихід за межі фрейму;

OPA – Optical Preamplicifier – попередній оптичний підсилювач;

OS – Operating System – операційна система (система, що керує роботою процесора або комп'ютера). Operations System – система, що керує/оперує на мережі (система, що керує роботою телекомунікаційної мережі);

OSF – Operations System Function – функція системи, що керує/оперує на мережі;

OSI – Open Systems Interconnection – взаємодія відкритих систем (BBC);

OWI – Order Wire Interface – інтерфейс службових каналів;

P – Опорна точка каналу DCC для мультиплексної секції;

PABX – Private Automatic Branch Exchange – приватна АТС;

Path HOVC – Path of Higher Order Virtual Container – маршрут віртуальних контейнерів верхнього рівня;

Path LOVC – Path of Lower Order Virtual Container – маршрут віртуальних контейнерів нижнього рівня;

PC – Connector PC – з'єднувач для ВОК типу PC;

PCM – Pulse-Code Modulation – імпульсно-кодова модуляція (ІКМ);

PDH – Plesiochronous Digital Hierarchy – плезіохронна цифрова ієрархія (ПЦІ);

PDU – Protocol Data Unit – протокольний блок даних;

PF – Presentation Function – функція подання;

Ph – Physical – фізичний (наприклад, фізичний рівень);

PHAMOS – Philips Advanced Management and Operations System for SDH network elements – вдосконалена система керування і адміністрування елементів мереж SDH компанії Філіпс;

PHASE-FNS – Philips Advanced Synchronous Equipment – Flexible Network Systems - вдосконалене синхронне устаткування Філіпс для гнучких мережевих рішень;

PJE – Pointer Justification Event – факт вирівнювання покажчика;

PL – Payload – корисне навантаження;

POH – Path Overhead – маршрутний заголовок;

PPI – PDH Physical Interface – фізичний інтерфейс сигналу PDH;

PPM – ppm – Parts Per Million – мільйонних часток (наприклад, 4.6 ppm = $=4,6 \cdot 10^{-6}$);

PPU – Pointer Processing Unit – блок обробки покажчиків;

PRC – Primary Reference Clock – первинний еталонний генератор (таймер);

PRS – Primary Reference Source – первинне еталонне джерело;

PSC – Protection Switch Count – число захисних перемикачів;

PSD – Protection Switch Duration – тривалість (визначеного) захисного перемикачів;

PSM – PDH-to-SDH Mediator – система або ланка зв'язку PDH і SDH мереж (на основі мультиплексорів PSM-1 компанії ECI);

PSPDN – Packet Switched Public Data Network – мережа передачі даних загального користування з пакетною комутацією;

PSN – Packet Switched Network – мережа пакетної комутації, наприклад, мережа X.25;

PTR – Pointer – покажчик;

Q – Тип інтерфейсу;

q – Опорна точка мережі TMN;

Q₃ – Інтерфейс для зв'язку DSN з NE або з Q-адаптером (а через нього з іншим устаткуванням) або з MD;

QA – Q-Adapter – Q-адаптер – адаптер, що дозволяє підключати устаткування, що має несумісні з TMN інтерфейси;

QAF – Q-Adapter Function – функція Q-адаптера;

Q_{B2} – Q-interface/stack B2 – Q-інтерфейс, що використовує стек протоколів B2;

Q_{B3} – Q-interface/stack B3 – Q-інтерфейс, що використовує стек протоколів B3;

QOS – Quality of Service – якість обслуговування;

Q_x – інтерфейс для зв'язку DCN з одного боку з MD, з іншого – з NE і з Q-адаптером;

R – Regenerator – регенератор;

RM – Regional Manager – регіональний менеджер (ПО для керування мережами SDH компанії Alcatel);

RMON – Remote Monitoring – дистанційний моніторинг;

ROSE – Remote Operations Service Element – сервісний елемент дистанційних операцій;

RS – Regenerator Section – регенераторна секція;

RSOH – Regenerator Section Overhead – заголовок регенераторної секції;

RST – Regenerator Section Termination – початок/закінчення регенераторної секції;

RZ – Return to Zero – двополярний код з поверненням до нуля;

S – позначення стандартної короткої міжстанційної регенераторної секції. Опорна точка схеми подання системи адміністративного керування;

SAP – Service Access Point – точка доступу сервісу;

SAPI – Service Access Point Identifier – ідентифікатор точки доступу сервісу;

SC – тип з'єднувача для BOK;

SCCP – Signaling Connection Control Part – частина, відповідальна за управління з'єднанням каналу сигналізації – протокол рівня 4 (SS7 - ОКС-7);

SCI – SIU Connection Interface – інтерфейс зв'язку з SIU;

SD – Signal Degrade – погіршення якості сигналу;

SDH – Synchronous Digital Hierarchy – синхронна цифрова ієрархія (СЦІ);

SDM – Synchronous Digital Multiplexer – синхронний цифровий мультиплексор (скорочення, використане компанією ECI для SMUX);

SOXC – Synchronous Digital Cross-Connect System – система загальної синхронної комутації/крос-комутації SDH потоків;

SEMF – Synchronous Equipment Management Function – функція управління синхронним обладнанням;

SES – Severely Errored Second – секунда із серйозними помилками;

SESR – Severely Errored Second Ratio – коефіцієнт помилок по секундах з серйозними помилками;

SETPI – Synchronous Equipment Timing Physical Interface – фізичний інтерфейс джерела синхронного устаткування;

SETS – Synchronous Equipment Timing Source – хронуюче джерело синхронного устаткування;

SF – Subframe – субфрейм;

SID – System Identifier – ідентифікатор системи (поле в структурі NSAP адреси);

SIU – Synchronous Interface Unit – блок синхронного інтерфейсу або блок лінійного виходу;

SL – Synchronous Line Link – синхронна (SDH) лінія;

SLM – Signal Label Mismatch – незбіг типу сигналу. Synchronous Line Multiplexer – синхронний лінійний мультиплексор;

SLR – Synchronous Line Regenerator – синхронний лінійний регенератор;

SLX – Synchronous Line Multiplexer – синхронний лінійний мультиплексор;

SM – Synchronous Multiplexer – синхронний мультиплексор (наприклад, SM-1/4 компанії Siemens);

SMA – Synchronous Multiplexer, Add-drop – SDH мультиплексор входу/виходу (в позначенні компанії GPT);

SMN – SDH Management Network – мережа керувань SDH;

SMS – Management Sub-network – підмережа SMS мережі керування SMN.

Synchronous Multiplex System – синхронна мультиплексна система;

SMUX – SDH Multiplexer – мультиплексор SDH. Synchronous Multiplexer – синхронний мультиплексор;

SNA – System Network Architecture – системна мережева архітектура;

SNC-P – приймальний блок самовідновлювального двоволоконного кільця SDH компанії Alcatel;

SNDCF – Sub-Network Dependent Convergence Function – функція зведення, що залежить від підмережі;

SNMP – Simple Network Management Protocol – простий протокол керування мережею;

SOH – Section Overhead – секційний заголовок;

SONET – Synchronous Optical Network – синхронна оптична мережа.

1) синхронна мережа передачі даних по волоконно–оптичному кабелю.

2) синхронна цифрова ієрархія, розроблена в США;

SONET/SDH – Synchronous Optical Network/Synchronous Digital Hierarchy – синхронна оптична мережа/синхронна цифрова ієрархія – єдина синхронна типологія або мережа SONET, що використовує швидкості передачі, які збігаються зі швидкостями ієрархії SDH;

SOS– Service Operations System – система керування сервісом мережі;

SPY – SDH Physical Interface – фізичний інтерфейс сигналу SDH;

SPIU – Subrack Power Interface Unit – блок живлення полки (касети) (апаратура компанії Nokia);

SR – Synchronous Radio Link – синхронна радіорелейна лінія (SDH);

SRC – Secondary Reference Clock – вторинний або підпорядкований еталонний генератор (БЕГ);

SRT– Synchronous Radio Trunk – синхронний радіотранк;

SS7 – SS#7 – Signaling System No.7 – система сигналізації по загальному каналу № 7 (ОКС-7) для телефонних мереж;

SSM – Synchronization Status Message – повідомлення про статус синхронізації;

SSW – System Switch Unit – блок системного крос-комутатора – центральний блок крос-комутатора типу DXC-4/4/1 (апаратура компанії Nokia);

ST – тип з'єднання для ВОК;

STM – Synchronous Time Division Multiplexer/ Multiplexing – синхронний мультиплексор з часовим розділенням. Synchronous Transport Module – синхронний транспортний модуль – основна одиниця ієрархії SDH;

STM-0 – Synchronous Transport Module of level 0 – синхронний транспортний модуль нульового рівня ієрархії SDH, відповідає SONET OC-1-51,840 Мбіт/с (те ж, що і STM-RR);

STM-1 – Synchronous Transport Module of level 1 – синхронний транспортний модуль першого рівня ієрархії SDH – 155,520 Мбіт/с. Лінійний оптичний агрегатний блок 155 Мбіт/с (апаратура компанії Nokia);

STM-1E – лінійний електричний агрегатний блок 155 Мбіт/с (апаратура компанії Nokia);

STM-16 – Synchronous Transport Module of level 16 – синхронний транспортний модуль 16 рівня ієрархії SDH - 2488,320 Мбіт/с;

STM-256 – Synchronous Transport Module of level 256 – синхронний транспортний модуль 256 рівня ієрархії SDH - 39813,120 Мбіт/с;

STM-4 – Synchronous Transport Module of level 4 – синхронний транспортний модуль четвертого рівня ієрархії SDH – 622,080 Мбіт/с. Лінійний оптичний агрегатний блок 622 Мбіт/с (апаратура компанії Nokia);

STM-64 – Synchronous Transport Module of level 64 – синхронний транспортний модуль 64-го рівня ієрархії SDH – 9953,280 Мбіт/с;

STM-RR – Synchronous Transport Module for Radio Relay Link – синхронний транспортний модуль для радіорелейних систем SDH, те ж, що і STM-0 або OC-1;

STM-N – Synchronous Transport Module of level N – синхронний транспортний модуль SDH рівня N, де N = 1, 4, 16, 64, 256;

STS – Synchronous Transport Signal – синхронний транспортний сигнал, основна одиниця ієрархії SONET;

STS-1 – Synchronous Transport Signal of the 1-st level – синхронний транспортний сигнал першого рівня ієрархії SONET – 51,84 Мбіт/с (те ж, що STM-0 в SDH);

STS-12 – Synchronous Transport Signal of the 12-th level – синхронний транспортний сигнал 12-го рівня ієрархії SONET – 622,08 Мбіт/с (те ж, що STM-4 в SDH);

STS-192 – Synchronous Transport Signal of the 192-th level – синхронний транспортний сигнал 192-го рівня ієрархії SONET – 9953,28 Мбіт/с (те ж, що STM-64 в SDH);

STS-3 – Synchronous Transport Signal of the 3-rd level – синхронний транспортний сигнал 3-го рівня ієрархії SONET – 155,52 Мбіт/с (те ж, що STM-1 в SDH);

STS-48 – Synchronous Transport Signal of the 48-th level – синхронний транспортний сигнал 48-го рівня ієрархії SONET – 2488,32 Мбіт/с (те ж, що STM-16 в SDH);

STS-n – STS-N – Synchronous Transport Signal of level n – синхронний транспортний сигнал n-го рівня ієрархії SONET;

SU – Service Unit - блок обслуговування інтерфейсів (апаратура компанії Nokia);

SUN – SUN Microsystems – компанія - виробник робочих станцій SUN SPARC Stations і мережевих серверів;

SVC – Switched Virtual Circuit – віртуальне коло, що комутується;

SW – Switch – комутатор;

SXC – Synchronous Cross-Connect – синхронний крос-комутатор;

T – опорна точка джерела синхронізації;

T:DAX – Універсальний крос-комутатор для мереж PDH/SDH/SONET компанії ECI;

T1 – первинний цифровий канал зі швидкістю передачі 1544 кбіт/с, стандартний в американській ієрархії PDH (див. DS-1);

T2 – вторинний цифровий канал зі швидкістю передачі 6312 кбіт/с, стандартний в американській ієрархії PDH (див. DS-2);

T3 – третинний цифровий канал зі швидкістю передачі 44,736 кбіт/с, стандартний в американській ієрархії POI (див. DS-3);

T4 – четвертинний цифровий канал зі швидкістю передачі 274,176 кбіт/с, стандартний в американській ієрархії PDH (див. DS-4);

TA – Terminal Adapter – термінальний адаптер;

TCI – TIU Connection Interface – інтерфейс зв'язку з TIU;

TCN – Telecommunications Network – телекомунікаційна мережа. Threshold Crossing Notification – повідомлення про перетин межі/порога;

TF – Transmission Fad – збій при передачі;

TIM – Trace Identifier Mismatch – незбіг ідентифікатора трасування;

TIU – Tributary Interface Unit – блок трибних інтерфейсів;

TM – Terminal Multiplexer – термінальний мультиплексор;

TMN – Telecommunications Management Network – мережа керування телекомунікаціями (мережа керування електрозв'язком);

TMS – Telecommunications Management System – система керування мережею зв'язку;

TN – 1X, – 4X – SDH мультиплексор рівня STM-1, STM-4 компанії Nortel;

TNC – Transit Node Clock – таймер транзитного вузла;

Token Ring – локальна мережа з кільцевою топологією і технологією типу «маркерне кільце», стандарту IEEE 802.5;

TP – Transmission Path – маршрут передачі (тракт);

TP4 – TP-4 – Transport Protocol Class 4 – транспортний протокол 4-го класу – протокол, який використовується для виявлення і корекції помилок (використовується в мережах без встановлення з'єднань);

TSW – Terminal System Switch – термінальний блок системного крос-комутатора (апаратура компанії Nokia);

TTF – Transport Terminal Function – функція початку/закінчення транспортування VC;

TTI – Trail Trace Identifier – ідентифікатор трасування тимчасового (поточного) маршруту;

TU – Tributary Urtit – трибний блок (інші варіанти: блок каналів доступу, субблок) – блок або елемент структури мультиплексування SDH, що забезпечує узгодження між нижніми і верхніми рівнями ієрархії;

TU-11 – Tributary Unit-11 – трибний блок, що відповідає віртуальному контейнеру VC-11 в ієрархії мультиплексування SDH;

TU-12 – Tributary Unit-12 – трибний блок, що відповідає віртуальному контейнеру VC-12 в ієрархії мультиплексування SDH;

TU-2 – Tributary Unit-2 – трибний блок, що відповідає віртуальному контейнеру VC-2 в ієрархії мультиплексування SDH;

TU-3 – Tributary Unit-3 – трибний блок, що відповідає віртуальному контейнеру VC-3 у ієрархії мультиплексування SDH (у старій схемі ділився на підрівні TU-31, TU-32);

TU-n – Tributary Unit-n – трибний блок, що відповідає віртуальному контейнеру VC рівня n ($n = 1, 2, 3$);

TUAP – TU AP – Tributary Unit Access Point – точка доступу трибного блока;

TUG-2 – Tributary Unit Group-2 – група трибних блоків рівня 2 – елемент SDH, що формується шляхом мультиплексування трибних блоків TU-1,2. TUG-2 також, як і TU-1,2 мав в старій схемі 2 підрівні – TUG-21 і TUG-22, у новій схемі мультиплексування підрівнів не має;

TUG-n – Tributary Unit Group n – група трибних блоків рівня n ($n = 2,3$);

U – опорна точка доступу до заголовка SOH;

UAS – Unavailable seconds – недоступні секунди;

UITS – Unacknowledged Information Transfer Service – сервіс: передачі інформації без підтвердження прийому;

UTC – Universal Time, Coordinated – універсальний скоординований час;

V1-V4 – заголовки, що поміщаються перед фреймом в мультифреймі;

V5 – заголовок першого фрейму мультифрейму;

VC – Virtual Container – віртуальний контейнер – елемент структури мультиплексування SDH;

VC-11 – Virtual Container 11 – віртуальний контейнер, що відповідає контейнеру C-11;

VC-12 – Virtual Container 12 – віртуальний контейнер, що відповідає контейнеру C-12;

VC-2 – Virtual Container 2 – віртуальний контейнер, що відповідає контейнеру C-2;

VC-3 – Virtual Container 3 – віртуальний контейнер, що відповідає контейнеру C-3;

VC-4 – Virtual Container 4 – віртуальний контейнер, що відповідає контейнеру C-4;

VC-4-Xc – віртуальний контейнер такої ж місткості, як і VC-4, але має розширену місткість для транспортування більшого, ніж VC-4 корисного навантаження;

VC-n – Virtual Container of level n – віртуальний контейнер рівня n;

WA, WB – West A, West B – лінійні агрегатні блоки "західного" напрямку: основний (A) і резервний (B);

WAN – Wide Area Network – глобальна мережа;

WDM – Wavelength Division Multiplexing – мультиплексування з розділенням по довжинах хвиль (спектральне ущільнення);

WS – Workstation – робоча станція – PC на одній з платформ (DEC, HP, Intel, SUN);

WSF – Workstation Function – функція робочої станції;

X – інтерфейс для зв'язку DCN із "зовнішнім світом", відповідає опорній точці x;

x – опорна точка мережі TMN між OSF, що належать двом TMN;

X.25 – локальна мережа передачі даних по протоколу X.25;

Xc – Extended Capacity – суфікс, що використовується в позначеннях технології SDH для того, щоб показати можливість розширення елемента структури мультиплексування SDH для передачі більшого робочого навантаження;

Y – опорна точка формування статусу синхронізації;

Z6 – один із заголовків мультифрейму;

Z7 – один із заголовків мультифрейму.

Російські скорочення

1+1 – режим стовідсоткового резервування в мережах SDH з використанням основного і резервного сигналів;

1:1 – режим стовідсоткового резервування в мережах SDH з використанням основного або резервного сигналів;

АИМ – амплітудно-імпульсна модуляція;

АКД – апаратура закінчення каналу даних (DCE);

АМ – амплітудна модуляція;

АС – американська схема ієрархії PDH;

АТС – автоматична телефонна станція;

АЦП – аналого-цифровий перетворювач (ADC);

ВЭГ – відомий (вторинний) еталонний генератор (те ж, що SRC);

ВОС – МВОС – взаємодія відкритих систем або модель взаємодії відкритих систем (OSI);

ВОК – волоконно–оптичний кабель (FO cable);
ВОЛС – волоконно–оптичні лінії зв'язку;
ВСС – взаємопов'язана мережа зв'язку РФ;
ВЦК – вторинний цифровий канал (DS2);
ВЭГ – підпорядкований еталонний генератор (SRC);
ГСС – глобальна мережа зв'язку (WAN);
ДИКМ – диференціальна ІКМ (DPCM);
ЄС – європейська схема ієрархії PDH;
ІКМ – імпульсно–кодова модуляція (PCM);
КТЧ – канал тональної частоти (voice channel);
ЛВС – ЛІС – локальна обчислювальна мережа (LAN);
М – Мбіт/с (коротке позначення, що використовується, в основному, на схемах);
МСЭ – Міжнародний Союз Електрозв'язку;
н. д. – немає даних;
нм – нанометр;
нс – наносекунда;
ОБП-ПН – модуляція несучої і піднесучої за амплітудою з подавленням однієї бічної смуги ОБП (лівої або правої) і подавленням несучої (ПН);
ОГС – загальноміська мережа (MAN);
ОКС – загальноканальна сигналізація (наприклад, ОКС-7);
ООД – кінцеве устаткування даних (DTE);
ООП – об'єктно–орієнтований підхід;
ОЦК – основний цифровий канал (basic rate digital signal, DS-0) – 64 кбіт/с;
ПЦИ – плезіохронна цифрова ієрархія (PDH);
ПЦК – первинний цифровий канал (DS1);
ПЭГ – первинний еталонний генератор (PRO);
РНИ – різнонаправлений (contradirectional) інтерфейс;
РРЛ – радіорелейна лінія;
РТМ – керівний технічний матеріал;
С/Ш – сигнал/шум;
СНИ – співнаправлений (codirectional) інтерфейс;
СОС – синхронна оптична мережа (SONET);
СПД – систем передачі даних;
СЦИ – синхронна цифрова ієрархія (SDH);
ТЦК – третинний цифровий канал (DS3);
ТЧ – тональна частота (voice frequency);
ЦГИ – інтерфейс з центральним тактовим генератором (centralized clock interface);

ЦСИО – цифрова мережа інтегрованого обслуговування (ISDN);

ЧМ – частотна модуляція (FM);

ЧЦК – четвертинний цифровий канал (DS4);

ЕМ – елемент менеджер (EM);

ЯС – японська схема ієрархії PDH.

ВСТУП

Понад двісті років тому індустріалізація глибоко вплинула на світову економіку. Сьогоднішня інформатизація матиме всесвітній вплив значно більших розмірів і змінить долю компаній, країн і людей.

Інформатизація змінює спосіб праці, життя розваг і навчання, дає можливості, які ми тільки починаємо усвідомлювати. Ці зміни утворюють нову інформативну економіку, де технологія єднає кожного з усім, де домінують відкриті комунікації, відкриті стандарти і відкриті ринки.

Інтенсивний розвиток нових інформаційних технологій стимулював розвиток цифрових методів передачі голосу і даних, що в кінцевому рахунку привело до створення не тільки технологій локальних мереж, але й нових високошвидкісних транспортних технологій глобальних мереж.

Найбільш цікавою транспортною технологією, що набула широкого застосування – є синхронна цифрова ієрархія SDH. Ця технологія прийшла на зміну імпульсно-кодовій модуляції PCM і плезіохронній цифровій ієрархії PDH і стала інтенсивно запроваджуватися у результаті масового встановлення сучасних цифрових АТС, що дозволяє оперувати потоками 2 Мбіт/с і утворення у регіонах локальних кілець SDH.

При створенні Україною національної служби зв'язку її не обминули вищезгадані події і проблеми. Тому у нас технологія SDH знайшла місце для існування. Більше того, її симбіоз із цифровою комутацією, не тільки дає змогу інтегрування зі світом і технічного переоснащення первинної мережі, але й поштовх до територіального реформування систем зв'язку України, яке являє собою поділ країни на чотири територіальні вузли – Центральний, Східний, Південний і Західний.

І ЦИФРОВІ КАНАЛИ ТА ІЄРАРХІЇ СИСТЕМ ЗВ'ЯЗКУ

1.1 Особливості каналів зв'язку

Канал зв'язку можна умовно поділити на передавальну і приймальну частини. Задачею передавальної частини є передача інформації без помилок. Задачею приймальної частини є прийом інформації без помилок.

Швидкість і надійність передачі через канал зв'язку визначається зі смуги пропускання цього каналу і відношення сигнал/шум на вході приймача.

В телекомунікаційних системах визначаються два види мереж:

- первинна;
- вторинна.

До первинної мережі відносяться кінцеві пристрої передавальної частини, функції яких в цифрових системах виконує мультиплексор, до складу якого входять системи мультиплексування первинних (трибних) каналів і оптичний чи електричний підсилювач.

Як канал зв'язку первинної мережі може бути вита пара, оптоволокно чи радіоканал. Для поновлення інформації в каналі зв'язку у ці канали встановлюються регенератори і підсилювачі, на приймальній частині до первинної мережі включений приймальний підсилювач, який входить до складу мультиплексора, і мультиплексор виведення інформації. Первинна мережа починається і закінчується на рівні трибів первинного потоку інформації.

Для створення глобальних мереж первинна мережа має працювати на основі єдиних стандартів і протоколів, обов'язкових для будь-якої держави.

Інтегральна цифрова система повинна забезпечувати надійну передачу будь-якої цифрової інформації, яка оброблена до стандартного для всієї мережі вигляду.

Для збільшення кількості каналів передачі ЛЗ – лінії зв'язку застосовують ущільнення зв'язку за рахунок мультиплексування.

Відрізняють частотне і часове мультиплексування, незалежно від типу мультиплексування, для передачі з допустимим рівнем можливості ідентифікації, необхідна мінімальна смуга частот 300 – 3100 Гц - піднімають до 3400, для створення захисних смуг береться 4 кГц. Далі за допомогою багаторазової ОСМ, модуляції з однією боковою смугою створюється основний груповий сигнал. За рахунок ОСМ, модуляції з однією боковою смугою на першому етапі формується 4 канали, які займають смугу від 60

до 76 кГц, і після ще 2-х модуляцій основна група містить 12 телефонних сигналів і займає смугу від 60 до 108 кГц. При частотному ущільненні з основної групи створюються майстер-групи по декілька основних груп (майстер-груп) і надмайстер-груп передається 960 телефонних каналів. При роботі через ефір, або за допомогою фідерних ЛЗ, використовують частотну модуляцію ВЧ сигналу.

При частотному мультиплексуванні необхідне чітке настроювання на піднесучу для фільтрації окремих каналів, тому еквівалентна добротність Q_c .

$$Q_c = \frac{f_0}{\Delta f} = \frac{100 \cdot 10^6}{4 \cdot 10^3} = 25 \cdot 10^3.$$

Така добротність за допомогою звичайних реактивних елементів фізично не реалізується.

1.2 Часове мультиплексування

При часовому мультиплексуванні здійснюється почергове опитування кожного із джерел інформації і синхронна передача цієї інформації на відповідний приймач, як наведено на рис. 1.1.

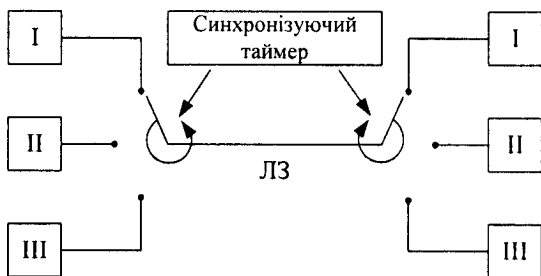


Рисунок 1.1 – Схема часового мультиплексування

На передавальному боці мультиплексор почергово вмикає джерела сигналу 1, 2, 3 до ЛЗ. Час підключення одного каналу до лінії зв'язку визначає час комутації і називається time-slot. Час підімкнення джерела до лінії зв'язку залежить від кількості каналів:

$$\Delta t_k = \frac{T_D}{n},$$

n - кількість каналів;

T_d – період повтору каналів.

Така система комутації веде до передачі сигналів з АІМ, яка має малу завадостійкість, і тому дозволяє узгоджувати аналогові лінії зв'язку з цифровими, тому в основному застосовується в локальних мережах зв'язку.

В цифрових АТС і в цифрових мережах зв'язку застосовують кодове мультиплексування: по черзі опитуються і передаються в лінію коди, сигнали яких поступають від джерел. Чергування кодів за певним законом називається *інтерлівінгом*. Тобто, в каналі зв'язку формується кодова послідовність:

$$L_1^1 L_2^1 \dots L_n^1 L_2^2 \dots L_n^2 \dots L_n^k L_1^k,$$

де n – номер каналу;

k – номер кодової групи.

В залежності від способу формування кодових груп відрізняють такі типи чергування:

- біт інтерлівінг;
- байт інтерлівінг;
- символний інтерлівінг;
- блок-інтерлівінг.

В цифровому зв'язку в основному використовується біт- і байт-інтерлівінг, символний – в телеграфії.

Для вирівнювання частот мультиплексування і демультиплексування додається синхронізуюча кодова група. Як правило, це кодова група одна для кількох *фреймів* (кадрів). Група фреймів з групою синхронізації створює *мультифрейм*.

В синхронних ієрархіях тривалість фрейму залишається постійною 125мкс, тому частота комутації не є постійною величиною.

1.3 Основні операції при перетвореннях цифрових мереж

При передачі через цифровий канал зв'язку сигнал, що передається, не повинен містити постійної складової, тому спектральна складова сигналу біля 0 має бути мінімальною. Для збільшення динамічного діапазону здійснюється компандування (стиснення) сигналу, а після цього здійснюється аналогово-цифрове перетворення, показане на рис. 1.2.

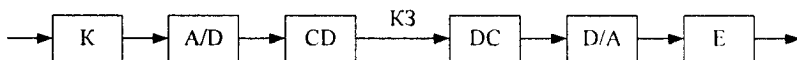


Рисунок 1.2 – Передача через цифровий канал зв'язку КЗ

К - компандер;

A/D - аналогово-цифровий перетворювач;

CD - кодер;

DC - декодер;

D/A - цифро-аналоговий перетворювач;

Е - експандер.

Стиснення сигналу в системах цифрового зв'язку здійснюється за А-законом міжнародних систем і μ -законом в американських системах.

А-закон:

$$y = \text{sign}(x)[z / (1 + \ln A)],$$

де x - значення сигналу;

z - параметр компандування.

$$z = A|x|, \quad 0 \leq x \leq 1/A$$

$$z = 1 + \ln A, \quad 1/A \leq x \leq 1$$

$$A = 87,6$$

При аналогово-цифровому перетворенні здійснюється дискретизація з частотою 8 кГц і квантування по 256 рівнях, 8 двійкових розрядів, і таким чином швидкість передачі складає $8 \cdot 8 \cdot 10^3 = 64$ кбіт/с, і є основним цифровим каналом (ОЦК).

Після аналогово-цифрового перетворення здійснюється лінійне кодування, яке забезпечує мінімум постійної складової, мінімум груп, що повторюються, формування службових груп і забезпечує диспарентність коду (різку відміну 0 від 1).

В цифрових системах використовуються коди NRZ, HDB3, Манчестер. При зв'язку по оптичних лініях використовують однополярну модифікацію HDB3. На приймальній частині встановлюється декодер, цифро-аналоговий перетворювач і експандер.

1.4 Особливості PDH ієрархії

Плезіохронна цифрова ієрархія PDH, яка близька до синхронної передачі, але синхронізація в такій ієрархії можлива тільки на нижніх рівнях.

До цього часу існують 3 системи ієрархії PDH – це Американська (DS),

Японська (DSJ), Європейська (E). Швидкості в цих системах ієрархії на різних рівнях наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Системи ієрархії в PDH

	Американська (кбіт/с)	Японська (кбіт/с)	Європейська (кбіт/с)
0	64	64	64
1	1544	1544	2048
2	3612	3612	8448
3	44736	32064	34368
4	-	97927	139264

За рахунок відмінних коефіцієнтів мультиплексування при переходах від одного рівня до іншого відрізняються ієрархією PDH. Для створення інтегрованої мережі передбачено крос-мультиплексування на таких рівнях:

$$2048 \rightarrow 6312 \text{ (від E1 в E2),}$$

$$32 \times 6 \rightarrow 140 \text{ (від T3 в E4),}$$

$$44 \times 5 \rightarrow 140 \text{ (від T3 в E4).}$$

Стандартизація рівнів PDH та інших стандартів дозволяє створювати ієрархічну систему високої швидкості передачі даних:

- американська – T1, T2, T3;
- японська – TJ1, TJ2, TJ3, TJ4;
- європейська – E1, E2, E3.

Ієрархії створюються за допомогою мультиплексування на вищому рівні n каналів нижчих рівнів. Для збереження частоти дискретизації таке мультиплексування потребує збільшення швидкості:

$$n \cdot V,$$

де n – кількість каналів;

V – швидкість попереднього каналу.

Стандартизовані такі системи мультиплексування:

- в американській системі і в японській перший рівень створюється 24 каналами $64 \cdot 24 = 1544$ кбіт/с;
- в європейській системі мультиплексується $30 + 2$ службових каналів $(30 + 2) \cdot 64 = 2048$ кбіт/с.

Для японської системи використовують такі коефіцієнти мультиплексування – 4,5,3, для американської – 4,7,6, для європейської та південно-американської системи на всіх рівнях коефіцієнти мультиплексування 4. Така стандартизація дозволяє створювати крос-мультиплексування від однієї мережі до іншої.

Стандарти PDH не потребують синхронності від користувачів. На першому рівні ще можливий байт мультиплексування, а на верхніх рівнях біт інтерлівінг. З метою синхронізації в мережах PDH узгодження швидкості здійснюється в мультиплексорах за допомогою вставки та додання або віднімання 1-го біта або групи біт, передається по службових каналах на демультіплексор – вирівнювання або стафінг. Інформація про стафінг передається по службових каналах на демультіплексор і на приймальній частині виконується зворотна процедура.

Для контролю синхронізації на 2 рівні ієрархій T2 і E2 створюються фрейми і мультифрейми. На рівні T2 довжина фрейму складає 789 біт, на рівні E2 – 1056 біт. За допомогою мультифрейму створюється службовий канал зі швидкістю 4 кбіт/с, що дозволяє передавати інформацію по коду CRC-6. Крім того мультифрейм використовують для передачі сигналу втрати синхронізації (LFS).

Подальший розвиток PDH привів до того, що були виключені швидкості E5 і T4.

Недоліки PDH:

- відсутність загальної синхронізації мережі;
- кожне мультиплексування потребує проведення стафіngu і передачі інформації по стафіngu;
- складності крос-мультиплексування;
- ускладнення процедури розборки потоку.

Відсутність синхронізації в PDH приводить до того, що до системи оптичних мереж (SONET) була введена загальна синхронізація мережі і ця мережа стала основою для мереж ієрархії SDH.

1.5 Особливості ієрархії SDH

На основі недоліків PDH в 1983р. була впроваджена ієрархія оптичного зв'язку SONET. Метою розробки такої ієрархії були такі напрямки:

- перехід до центральної синхронізації мережі для можливості введення-виведення інформації конкретного потоку із загального;
- розробка нової структури фреймів, що дозволяє не тільки вказувати маршрут, а і забезпечувати керування мережею;
- систематизація ієрархічного ряду фреймів;
- розробка нових інтерфейсів і протоколів для узгодження з іншими системами.

Для реалізації мети в першу чергу було введено єдине джерело синхронізації зі стабільністю не більше ніж 10^{-9} . В PDH при відсутності єдиної

синхронізації для потоку 40 Мбіт/с відхилення швидкості складало 1789 біт/с.

Тому в SDH для синхронізації мереж використовується побайтове мультиплексування. При відносній нестабільності 10^{-9} для того ж потоку в 40 Мбіт/с, це дає помилку швидкості всього 0,045 біт/с.

В ієрархію SDH були включені додаткові ієрархічні рівні, які могли перекрити швидкості PDH всіх рівнів. При переході від одного ієрархічного рівня до іншого застосовуються постійні коефіцієнти мультиплексування в чотири рази: STM-1, STM-4, STM-16, STM-64, STM-256 (~40Гбіт/с).

В SDH для перенесення інформації використовується принцип інкапсуляції (принцип матрьошки): фрейми вищого рівня можна розглядати як логічні блоки (контейнери), в які вкладаються логічні блоки фреймів нижнього рівня. Таке вкладання можливе тільки при жорсткій синхронізації всієї мережі. Для збільшення гнучкості було запропоновано об'єднання декількох логічних блоків одного рівня в один більш великий блок – конкатенація (зчеплення). При зчепленні блоків одного рівня можлива ситуація, що довжина сумарного блока не буде кратною 125мкс. Для визначення місцеположення всередині фрейму вищого рівня блоків нижчих рівнів до них додається покажчик PTR, який вказує початок першого фрейму STM-1.

Розробка нової структури фрейму транспортного модуля, це елементарний модуль мережі, виходили з того, що цей модуль має перекривати максимальну швидкість PDH 140 Мбіт/с. І в цей модуль обов'язково має поміщатися контейнер верхнього рівня VC-4.

Розмір VC-4 відповідає структурі стандартного фрейму PDH 9·261 байт, 9 рядків, 261 – стовпець.

Для ідентифікації модуля до контейнера додається заголовок SOH розміром 9·9 байт. До контейнерів нижнього рівня додаються заголовки POH розміром 9·1 байт.

Структуру модуля STM можна подати в такому вигляді, як зображено на рис. 1.3:

Наявність секційного заголовка дозволяє створити службовий канал зі швидкістю 9·9·64 кбіт/с (5,184 Мбіт/с).

Одним з основних принципів при розробці структури фреймів стало те,

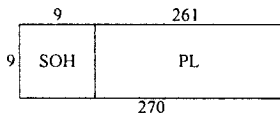


Рисунок 1.3 – Структура модуля STM-1

що фрейм подається у вигляді логічної структури типу двовимірної таблиці розміром $9 \times m$. При такому відображенні інформації 1 клітинка відповідає швидкості 64 кбіт/с. Довжина фрейму, яка визначає розмір контейнера – 125мкс.

Історично SDH можна розглядати як різкий стрибок в технологіях PDH. Тому прийнято, що SDH підтримують лише PDH і SDH.

Технологія SDH мала забезпечити узгодження з іншими мережами (такими як Frame Relay, ISDN, ATM та ін.), але підтримка таких мереж в SDH непередбачена.

Для перенесення як стандартної, так і не стандартної інформації первинних потоків (трибів) завантажується в логічні структури – контейнер. Для визначення маршруту і типу навантаження до контейнера додається заголовок POH. І таким чином створюється перша стандартна структура – віртуальний контейнер $VC=C+POH=PL+POH$. Зміст контейнера – є корисним навантаженням віртуального контейнера. Для можливості плаваючого режиму контейнера у віртуальному контейнері необхідно визначити його положення, тому до контейнера додається покажчик PTR і створюється трибний блок, на вищих рівнях це адміністративний блок: $TU=VC+PTR$ або $AU=VC+PTR$. Після об'єднання декількох потоків в один за допомогою мультиплексування створюється група трибних блоків: $TUG=m \times TU$ або $AUG=m \times AV$.

Контрольні запитання до розділу 1

1. Навести загальну структуру каналу цифрового зв'язку.
2. Пояснити принципи квантування, дискретизації, компандування.
3. Пояснити принципи частотного мультиплексування.
4. Пояснити принципи часового мультиплексування.
5. Пояснити принципи побудови плезіохронної ієрархії та визначити її недоліки.
6. Пояснити принципи побудови синхронної ієрархії та порівняти її з PDH.

2 МУЛЬТИПЛЕКСУВАННЯ В SDH

2.1 Схема мультиплексування в SDH

Схемою мультиплексування називається структура, або логічний вираз, який однозначно визначає процедуру перетворення і об'єднання елементарних потоків (трибів) в синхронний транспортний модуль STM. В процесі узгодження і розробки взаємних стандартів в 1993 році була запропонована загальна схема мультиплексування, яка об'єднує схему SONET 1992 року і Європейську SDH 1993 року. Тому часто називають цю схему SONET/SDH, вона зображена на рис. 2.1.

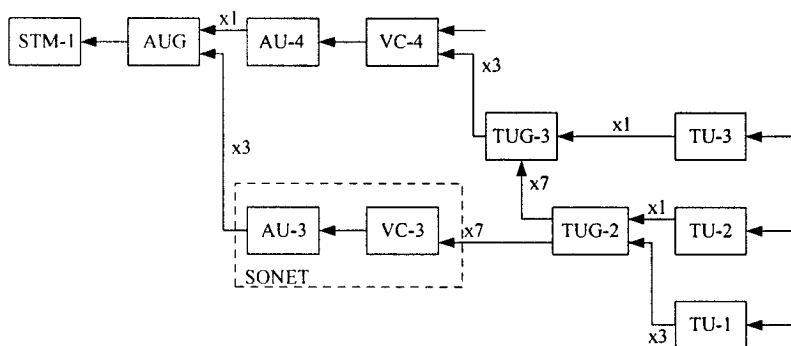


Рисунок 2.1 – Схема мультиплексування SONET/SDH

Мультиплексування AU-4 в AVG при такій схемі мультиплексування несе нормальний характер

2.2 Детальна схема мультиплексування в SDH

Елементи логічної схеми формуються і не завжди відповідають фізичним методам і послідовностям формування модулів, як це зображено на рис. 2.2. Реалізація залежить від фірми виробника.

Для завантаження потоку E-1 в контейнер C-12 до 32 байт потоку додаються біти під вирівнювання. До контейнера C-12, який разом з бітом вирівнювання складає корисне навантаження, додається заголовок VC-12 PОН: $VC-12 = PОН + PL = PОН + C-12$. При додаванні покажчика віртуальний контейнер перетворюється в трибний блок $TU-12 = PTR + VC-12$. Після мультиплексування 3-х трибних потоків формується груповий малий блок

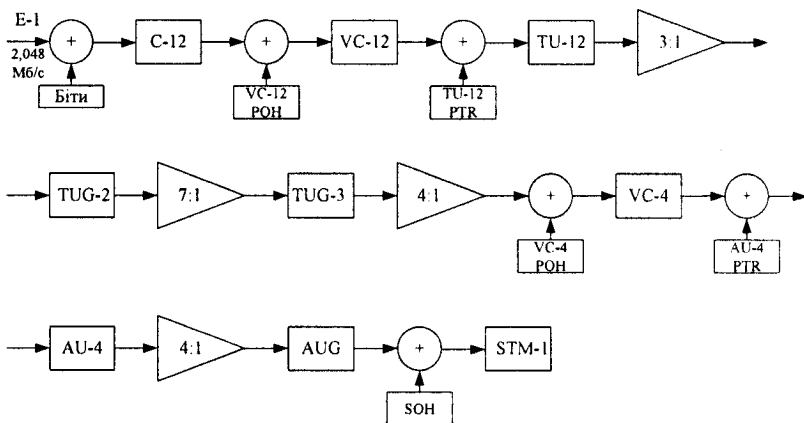


Рисунок 2.2 – Мультиплексування потоків E-1 в STM-1

TUG-2. Далі здійснюється мультиплексування 7:1. 4 потоки TUG-3 мультиплекуються, до них приєднується заголовок VC-4 POH і створюється віртуальний контейнер VC-4. До нього додається показник адміністративного блоку AU-4 PTR, який після мультиплексування створює груповий адміністративний блок AUG. Після додання секційного заголовка SOH формується транспортний модуль STM-1: $STM-1 = SOH + AUG$.

В залежності від формування типу первинного потоку і рівня логічного блоку, кількість байт, що додаються, і правила їх додавання змінюються.

Розглянемо основні етапи мультиплексування 3-х трибних потоків:

Етап 1. До E1 додаються 2 байти і створюється контейнер C-12 розміром 34 байти. Ці байти інформації не переносять і призначені для вирівнювання швидкості.

Етап 2. До контейнера C-12 додається 1 байт заголовка, розміром VC-12 і стає 35 байт. Примітка. Найчастіше 1 байт заголовка може бути 1 на 4 віртуальних контейнери, тому фактична довжина VC-12 стає $34,75 \text{ байт} + 0,25 \text{ байта заголовка}$ і середня довжина VC-12 в 35 байт зберігається.

Етап 3. До 35 байт віртуального контейнера VC-12 додається 1 байт показника і створюється трибний блок TU-12 розміром 36 байт, який частіше подається у вигляді таблиці 3-4.

Перетворення VC-12 в трибний блок TU-12 може бути в плаваючому і фіксованому режимі. Плаваючий режим означає, що початок фрейму VC-12 може бути у будь-якому місці фрейму TU-12. Плаваючий режим дозволяє забезпечити певну асинхронність при завантаженні за рахунок показника, а також динамічне вирівнювання. В синхронному режимі положення

фреймів VC-12 фіксоване, тому необхідність покажчиків відпадає.

Для плаваючого режиму формується мультифрейм з декількох фреймів нижнього рівня (C-11, C-12, C-2). При створенні такого фрейму можливі 3 варіанти відображення:

- асинхронне;
- біт-синхронне;
- байт-синхронне.

Біт-синхронне відображення використовуються для сигналів, які не мають байтової структури. Таке відображення не дозволяється при міжнародному зв'язку.

Байт-синхронне відображення використовується для PDH рівнів з внутрішньоканальною синхронізацією (19 байт) при розмірі мультифрейму 140 байт і PDH сигналів з сигналізацією по спільному каналу (CCS (SS#7)).

Асинхронне відображення використовується для сигналів з байтовою структурою, які не підтримує SDH.

При створенні віртуального контейнера VC-12 і переході до TU-12 формується мультифрейм, який складається з 4-х контейнерів VC-12 довжиною 140 байт і періодом повтору 500 мкс. Всередині мультифрейму початкова фаза визначається положенням покажчиків H4 заголовка POH контейнера верхнього рівня. Всередині мультифрейму кожний фрейм віртуального контейнера має власний заголовок в 1 байт.

V5	VC-12	I2	VC-12 ₂	Z4	VC-12 ₃	Z7	VC-12 ₄
----	-------	----	--------------------	----	--------------------	----	--------------------

Використовується в основному тільки заголовок першого контейнера V5, інші формально зарезервовані. З мультифрейму VC-12 формується трибний блок TU-12, розташовуючи перед кожним заголовком віртуального контейнера покажчик TU-12 PTR.

V1	105-139	V2	0-34	V3	35-69	V4	70-104
----	---------	----	------	----	-------	----	--------

V1, V4 - покажчик довжиною 1 байт. Покажчики V1, V2 складають загальне 16-бітове поле.

2 байти		
N	S	I/D
1..4	5..6	7..10

N - прапорець нових даних. В нормальному режимі ці біти мають вигляд 0110. Якщо проводилось вирівнювання, то прапорець змінюється на

інверсний - 1001.

S - вказують тип трибного блока.

I/D - біти вирівнювання (+/-), значення може змінюватися від 0 до 139 байт. Визначає положення першого фрейму VC-12 після покажчика V2. Якщо вирівнювання додатне, то здійснюється зсув фреймів від V3 до V4, а якщо від'ємне, то навпаки. Причому V3 і V4 використовують як резерв для вирівнювання.

У фіксованому режимі покажчики не використовуються, а трибний блок TU-12 подається у вигляді фрейму в 36 байт. Перший байт R містить образи покажчиків V-1, V-2, V-3, V-4. А другий байт R містить образи заголовків V-5, J-2, Z6, Z7.

Етап 4. Послідовність TU-12 мультиплексується 3:1 і формується група трибних блоків TUG-2 розміром 36·3 (9·12)→108 байт. При мультиплексуванні покажчики TU-12 PTR розташовуються окремо.

Етап 5. Блок TUG-2 мультиплексується 7:1, формується груповий трибний блок TUG-3 розміром 108·7=756 або 9·84. Блок TUG-3 фактично відповідає фрейму 9·86 байт за рахунок додання 18 байт, з яких 3 байти покажчик нульового поля NPI і 15 байт пустого поля чи наповнювача FS: TUG-3=7x TUG-2+ NPI+ FS.

Процедура мультиплексування і формування TUG-3 може бути зображена схемою, що подана на рис. 2.3:

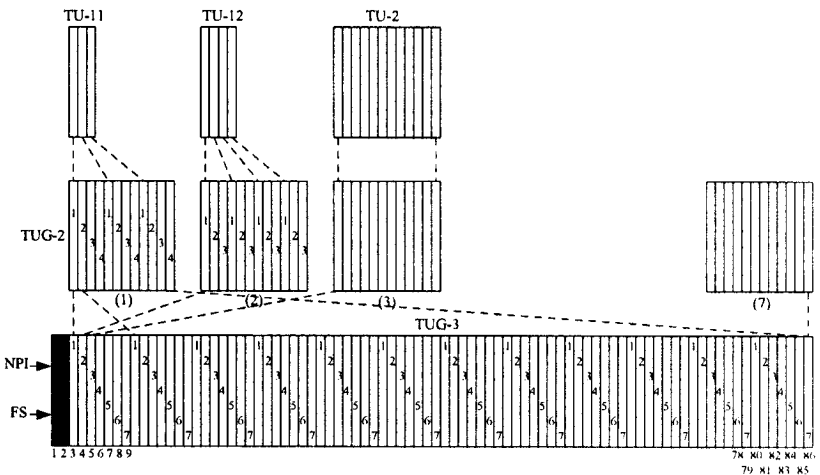


Рисунок 2.3 – Формування TUG-3

В залежності від первинного потоку в фрейм TUG-2 завантажується 4 TU-11 або 3 TU-12 або 1 TU-2. Завантаження здійснюється побайтовим

мультиплексуванням. Мультиплексування в TUG-3 також здійснюється побайтово, причому покажчики TU нижнього рівня виносяться на початок. Корисним навантаженням трибних блоків може бути 3VC-12, 4VC-11 або 1VC-2 зі своїми заголовками.

Етап 6. TUG-3 мультиплексується 3:1, формується потік $774 \cdot 3 = 2322$ байти.

Етап 7. Формується VC-4 (віртуальний контейнер 4 рівня) за рахунок додання заголовка VC POH розміром 9 байт: $2322 + 9 = 2331$ байт. Для можливості уніфікованої схеми завантаження для всіх рівнів первинних потоків у VC-4 додається 2 стовпці пуского поля 2:9: $VC-4 = 3 \cdot TUG-3 + FS_{VC-4}$.

Етап 8. Здійснюється формування синхронного транспортного модуля STM-1. До VC-4 додається покажчик AU-4 PTR і формується адміністративний блок AU-4 (9 байт). Здійснюється формальне мультиплексування 1:1 і формується груповий адміністративний блок AUG до якого додається секційний заголовок SOH, який складається з 3·9 байт RSOH (заголовок регенеративної секції) і 5·9 байт MSOH (заголовок мультиплексованої секції).

Після цього формується STM розміром $261 + 9 = 270$ стовпців або $270 \cdot 9 = 2430$ байт.

При частоті повторення 8 кГц це відповідає швидкості 155,52 Мбіт/с.

У форматному вигляді схему формування STM-1 з E1 можна подати:

$$STM - 1 = (((((E1 + 2 \text{ байти}) + VC - 12_POH + TU - 12_PTR) \times 3TUG - 2) \times 7 + 3NPI + FS_{TUG-3}) \times 3VC - 4 + VC - 4_POH + FS_{VC-4} + AU - 4_PTR) \times 1 + RSOH + MSOH.$$

Довжина фрейму на кожному рівні визначається за допомогою числової схеми формування:

$$STM - 1 = (((32_{E1} + 2 \text{ байти} + 1_{VC-4_POH} + 1_{TU-12_PTR}) \times 3_{TUG-2}) \times 7 + 3_{NPI} + 15_{FS-TUG-3}) \times 3_{VC-4} + 18 \text{ байт} + FS_{VC-4} + 9_{AU-4_PTR} \times 1_{AUG} + 3 \times 9_{RSOH} + 5 \times 9_{MSOH} = 2430 \text{ байт}.$$

Таким чином, STM-1 містить 2430 байт і передає інформацію 63 каналами STM.

2.3 Структура фрейму STM

Для зручності фрейм SDH подають у вигляді таблиці 9·m, де m - кількість стовпців. При такому відображенні і постійній тривалості фрейму T=125мкс, одна клітинка таблиці відповідає швидкості 64 кбіт/с. Фрейм STM-1 має розмір 9·270, який складається із заголовка і корисного навантаження, як зображено на рис. 2.4.

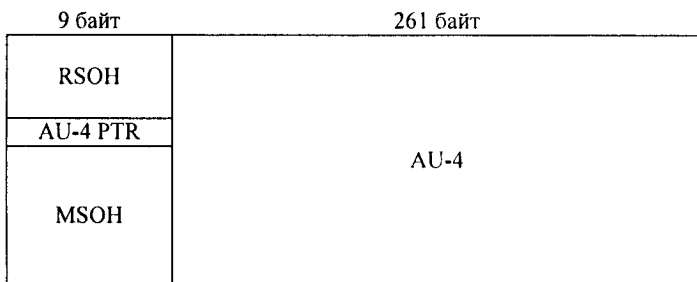


Рисунок 2.4 – Структура STM-1

Така таблиця відповідає послідовній передачі в часі рядків зліва направо. Корисним навантаженням AU-4 є віртуальний контейнер VC-4 зі своїм заголовком, показаний на рис. 2.5.

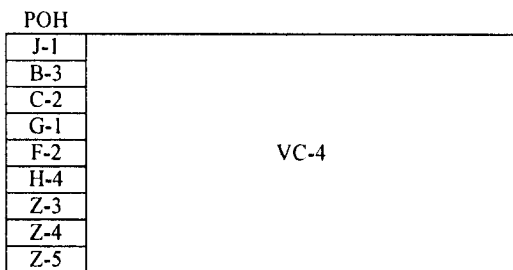


Рисунок 2.5 – Структура AU-4

Заголовок VC-4 складається з 9 байт призначення яких однозначно визначено:

- байт J1 – призначений для передачі 16-байтового кадру маркера початку фрейму (1 байт) і ідентифікатора точки маршрутного доступу (байти 2–16), який передається по ASCII. За допомогою цього байта здійснюється контроль цілісності маршруту. При міжнародному зв'язку ідентифікатор передається 64 байтовим кодом зі швидкістю 1 кбіт/с;

- байт B3 – код ВІР-8 для контролю парності в попередньому контейнері;

- байт C2 – показчик типу навантаження (TUG, C-3, фіксований TU, ATM, Frame Relay тощо);

- байт G1 – ідентифікатор стану маршруту, показує наявність збою при прийомі;
- байти F2, Z3 – байти для маршрутного каналу зв'язку;
- байт H4 – узагальнений індикатор положення навантаження, вказує на номер фрейму віртуального контейнера VC-1 або VC-2 в TU-1 чи TU-2;
- байт Z5 – байт оператора мережі для адміністрування.

Основне призначення РОН для будь-якого рівня – забезпечення цілісності маршруту.

Фрейм STM-1 визначає тільки одну можливість завантаження групи адміністративних блоків AUG. Група адміністративних блоків AUG може відображати або 1VC-4, або 3VC-3. В цьому випадку рядок покажчиків, який знаходиться в фреймі SOH, може бути завантажений або одним покажчиком AU-4_PTR, або трьома AU-3_PTR. При завантаженні трьох AU-3 здійснюється побайтове мультиплексування, а схема завантаження має такий вигляд, як показано на рис. 2.6.

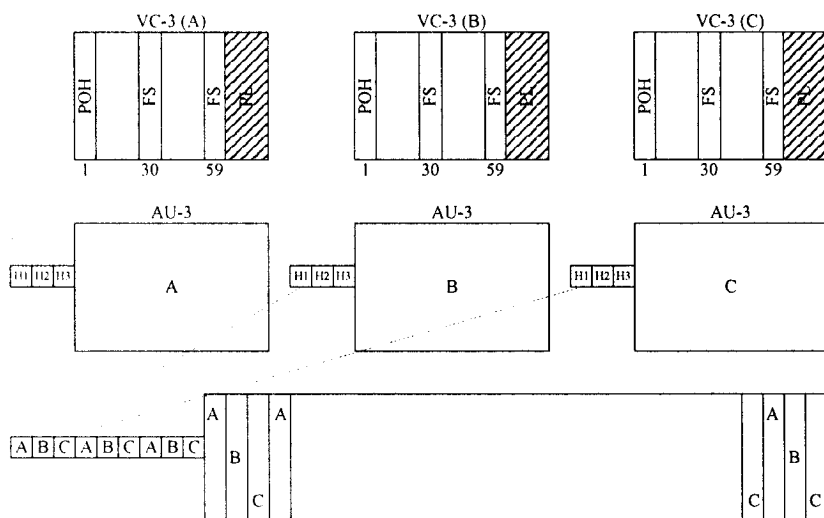


Рисунок 2.6 – Завантаження трьох AU-3

Контейнер VC-3 містить заголовок РОН в першому стовпці, структура РОН – призначення байт теж саме, що і для VC-4, 30 і 59 стовпців – пусте поле FS. Частина корисного навантаження після 59 стовпця передається з плаваючою фазою. Покажчики AU-3 H1, H2, H3, які сформовані з віртуа-

льних контейнерів VC-3, передаються з 4 рядком, до початку 4 рядки фрейму AU-3.

Як для віртуального контейнера VC-4 корисним навантаженням може бути або 1 контейнер C4, або 3 групових трибних блоки TUG-3. Для VC-4 корисне навантаження може становити C-4 розміром 9·261 байт або 3 TUG-3 розміром 9·86 байт.

2.4 Структура заголовка SOH

Якщо заголовки нижнього рівня POH призначені для збереження цілісності маршруту, то секційний заголовок SOH відповідає за транспортний модуль в цілому. У зв'язку з цим призначення його окремих байт має відповідати вимогам до, так званих, відкритих систем.

Формально під SOH відводиться блок розміром 9·9 байт. Фактично SOH складається з регенераційного (RSOH) розміром 3·9 байт і мультиплексного (MSOH) розміром 5·9 байт заголовків і структурно розташованого показника AU-n_PTR в 4-му рядку, як показано на рис. 2.7.

	1	2	3	4	5	6	7		
1	A1	A2	A1	A2	A1	A2	C1	*	*
2	B1	Δ	Δ	E1	Δ		F1	X	X
3	D1	Δ	Δ	D2	Δ		D3		
4	Показник AU								
5	B2	B2	B2	K1			K2		
6	D4			D5			D6		
7	D7			D8			D9		
8	D10			D11			D12		
9	Z1	Z1	Z1	Z2	Z2	Z2	E2	X	X

Заголовок
регенераційної секції
RSOH

Заголовок
мультиплексної секції
MSOH

Рисунок 2.7 – Структура SOH

X – байти, зарезервовані для подальшого розвитку мережі.

X* – байти, які забороняється шифрувати при передачі заголовка.

Δ – байти, які залежать від середовища передачі.

A1, A2 – індикатори наявності фрейму STM-1 у фреймах STM-n. При наявності STM-1 у фреймах вищих рівнів A1=11110110, A2=00101000.

B1 – байти коду ВІР-8 (контроль парності по 8 байтах).

B2 – байти коду ВІР-24.

D1..D12 – байти службового каналу DCC, через який передаються команди керування, менеджменту, адміністрування тощо:

D1..D3 – канали керування регенераційної секції (192 кбіт/с);

D4..D12 – канали керування мультіплексною секцією (576 кбіт/с).

K1, K2 – байти автоматичної комутації, які змінюють свій стан у випадку переходу з несправного каналу на робочий.

E1, E2 – канали голосового зв'язку для регенераційної і мультіплексною секцій.

F1 – канал, зарезервований для передачі даних чи голосового зв'язку від користувача.

C1 – вказує глибину інтервілінгу (рівень мультіплексування).

Z1, Z2 – зарезервовані для розвитку міжнародних мереж, за винятком 5-го і 6-го байтів в Z1, які передають повідомлення про статус синхронізації.

При мультіплексуванні на більш високий рівень загальна структура SON зберігається.

2.5 Складання модулів STM-N

Складання модулів вищого рівня з модулів нижчого рівня здійснюється за допомогою мультіплексування. В мережі SONET використовується мультіплексування відповідно арифметичної прогресії - 1, 2, 4, 8, 12. В SDH при переході на вищий рівень використовується постійний коефіцієнт мультіплексування (6707, 1993).

Мультіплексування нижніх модулів у вищі рівні може здійснюватись каскадно і безпосередньо. При безпосередньому мультіплексуванні N нижніх модулів мультіплексуються в 1 ($N = 1, 4, 16, 64, 256$). Безпосереднє мультіплексування здійснюється чергуванням байтів. Таке мультіплексування можливе при виконанні умов безконфліктного зв'язку. Можливе у тому випадку, коли STM-1 належить до однієї з трьох категорій, відповідно до стандарту G.708:

- 1) як корисне навантаження використовується AU-3;
- 2) AU-n може бути різної категорії (AU-3 або AU-4), але для усіх AU корисним навантаженням має бути TUG-2;
- 3) як корисне навантаження використовуються різні типи TUG-2 (TUG-21 чи TUG-22).

З 1993 р. існують більш жорсткі вимоги для безпосереднього мультіплексування:

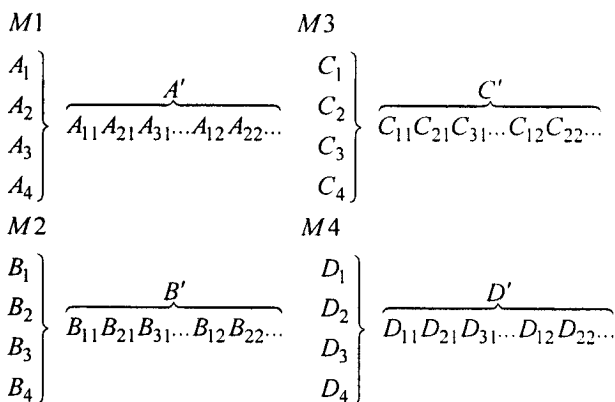
– якщо в STM присутні AU-4 і AU-3, STM з AU-3 має бути демультимплексованим до рівня TUG-2 чи VC-3 і знову мультимплексовані через VC-4 до AU-4;

– якщо як навантаження використовуються різні типи TUG-2, складені з TU-11 чи TU-12, то перевага надається TU-11.

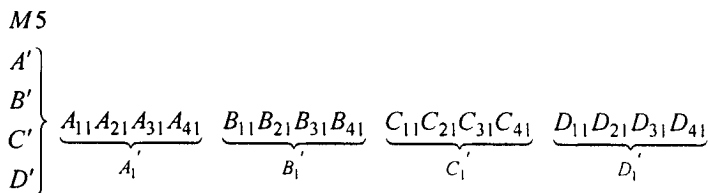
Частіше використовується каскадне мультимплексування, яке виконується за схемою чергування груп байт: STM-1→STM-16. На першому етапі здійснюється мультимплексування 4:1 – STM-1→STM-4, на другому етапі здійснюється мультимплексування 4:1 – STM-4→STM-16.

Заголовок STM-N має структуру:

– побайтово



– за групою байт



Після кожного кроку мультимплексування здійснюється чергування за групами байт. Кількість байт в групі визначає глибину інтервілінгу. Наприклад, при перетворенні STM-1 після першого мультимплексування група складається з 4 байт, після другого мультимплексування - 16 байт, після третього - 64 байти.

При будь-якому типі мультиплексування зберігається структура заголовка STM-N. За основу прийнята структура STM-1, це показано на рис. 2.8.

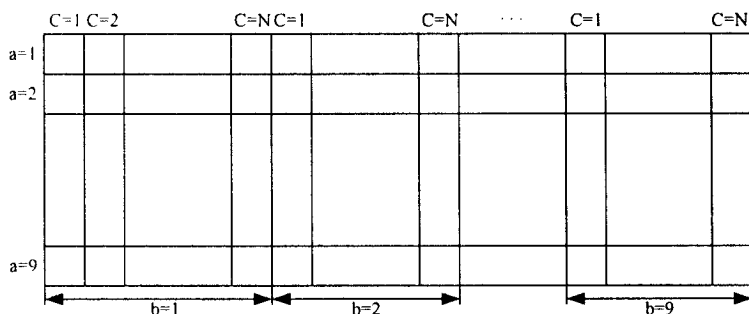


Рисунок 2.8 – Структура заголовка STM-N

В заголовках вищого рівня стовпці STM-1 замінюються на мультистовпці. Кількість мультистовпців завжди дорівнює 9 ($b=1..9$). Кількість рядків зберігається ($a=1..9$). Кількість колонок всередині мультистовпців залежить від глибини інтервілінгу: $N=1, 4, 16$.

Для STM-4 SOH має формат $9 \cdot 36$, для STM-16 – $9 \cdot 144$.

Положення байта всередині заголовка визначається як рядок: $row=a$.

Номер колонки визначається: $col=N(b-1)+C$.

2.6 Особливості SDH в радіорелейному зв'язку

На першому етапі в радіорелейному зв'язку використовувався модуль STM-1 зі швидкістю 155 Мбіт/с, але його використання потребувало капітальної переробки існуючих радіосистем і заміни стандартних інтерфейсів.

Для можливості використання окремих інтерфейсів, пов'язаних з радіоканалом, і збереження структури ієрархії SDH для зв'язку по радіоканалу рекомендовано модуль STM-RR зі швидкістю 51,840 Мбіт/с. При його створенні зберігалась структура фрейму і швидкість службових каналів.

Заголовок модуля містить ті ж байти, що і SOH, але має розмір $9 \cdot 3$. При такій швидкості навантаження модуля STM-мережі може бути тільки AU-3, в який завантажується VC-3 (з наповнювачем чи пустим полем), як зображено на рис. 2.9.

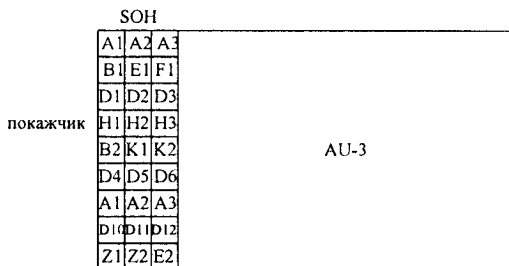


Рисунок 2.9 – Структура STM-RR

Введення модуля STM-RR дозволяє за допомогою радіоканалу замика-ти кільце, робити зв'язок між кільцями, використовувати SDH при склад-ному рельєфі місцевості. Використання модуля STM-RR дозволяється все-редині кільцевих топологій, між кільцевими топологіями, але заборонене при використанні як інтерфейсу до кабельних ліній зв'язку.

STM-RR мультиплексується відповідно до стандартів ETSI. Всередині AU-3 розташований контейнер VC-3, аналогічно формування VC-3 при завантаженні STM-1 або STM-N.

Виходячи з того, що модуль STM-RR має бути сумісним з мультиплек-сорами SDH для нього передбачається спеціальна схема мультиплексуван-ня. Схема мультиплексування передбачена рекомендаціями ITV-T, які на-зиваються «orange book», подана на рис. 2.10.

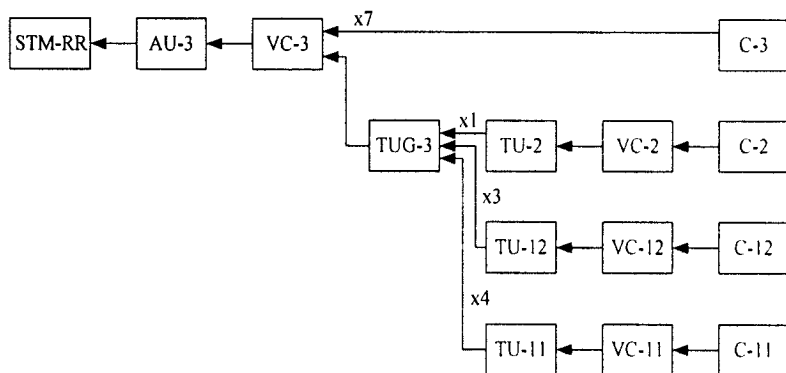


Рисунок 2.10 – Схема мультиплексування модуля STM-RR

У зв'язку з тим, що розмір STM - 51,84 Мбіт/с, то можна завантажити VC-3. Для VC-1 і VC-2 схема мультиплексування збігається зі схемою му-

льтиплексування STM.

Для переходу від STM-RR до STM-1 використовується демультимплексування радіомодуля до рівня TUG-2 чи C-3.

Схема переходу від STM-RR до STM-1 зображена на рис. 2.11.

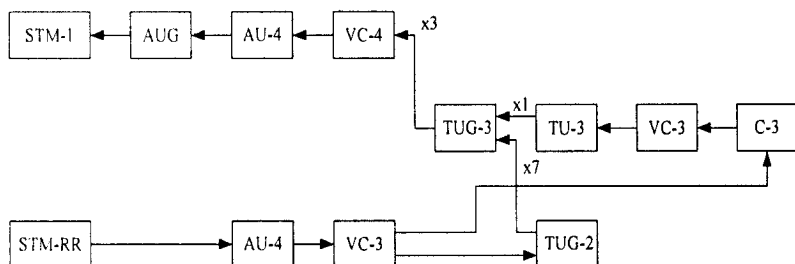


Рисунок 2.11 – Схема демультимплексування і трансформації STM-RR

В залежності від типу навантаження VC-3 перехід здійснюється від VC-3 до C-3. Заголовки модуля, що демультимплексується, і після виведення VC-3, можуть не збігатися. Якщо навантаження складається з контейнерів нижніх рівнів, то VC-3 зводиться до рівня TUG-2 з наступним мультиплексуванням.

Контрольні запитання до розділу 2

1. Поясніть такі поняття як: «фрейм», «інкапсуляція», «конкатенація», «стафінг».
2. Навести і пояснити структуру віртуального контейнера VC, трибного блока TU, групи трибних блоків TUG.
3. Навести і пояснити структуру адміністративних блоків AU і транспортного модуля STM.
4. Навести схему мультиплексування PDH трибів в транспортний модуль.
5. Навести схему детального формування STM-1 із первинних потоків E-n; T-n.
6. Навести схему формування TUG-3.
7. Навести схему формування і структуру модуля STM-1 із віртуальних контейнерів VC-4.

3 ФУНКЦІОНАЛЬНА СТРУКТУРА SDH

3.1 Функціональні модулі SDH

Мережу SDH можна розглядати:

- як логічну структуру, яка визначає інформаційні потоки та їх спрямування;
- як функціональну структуру, яка включає в себе елементи, які керують функціонуванням мережі, і зв'язки між ними, які створюють топологію мережі;
- як фізичну структуру, яка створює середовище передачі даних.

Основними функціональними модулями SDH є:

- мультиплексори;
- комутатори;
- регенератори;
- термінальне обладнання.

Фізично ці модулі можуть об'єднуватись в одному пристрої, але при складанні топології мереж прийнято розділяти модулі за функціями.

1. Збір вхідних потоків та їх поєднання в один агрегатний потік здійснюється за допомогою термінального мультиплексора ТМ, що зображений на рис. 3.1.

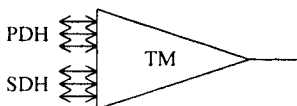


Рисунок 3.1 – Термінальний мультиплексор

Вхідні потоки, які надходять від користувача, прийнято називати трибами, а результуючий потік - агрегатний. Термінальний мультиплексор трансформує вхідні потоки в потоки SDH.

2. Трансформування вихідних потоків з можливістю введення-виведення окремих потоків, як показано на рис. 3.2.

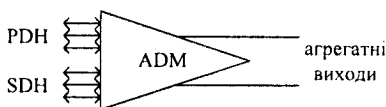


Рисунок 3.2 – Мультиплексор з можливістю введення-виведення

ADM функціонує в мережі SDH і тому забезпечує введення-виведення інформаційних потоків, які підтримуються в SDH.

3. Перевантаження віртуальних контейнерів за різними напрямками чи транспортними модулями за допомогою комутаторів чи крос-комутаторів, як подано на рис. 3.3.

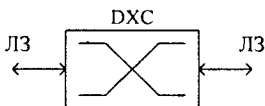


Рисунок 3.3 – Крос-комутатор

4. Об'єднання однотипних потоків у одному розподільному вузлі здійснюється за допомогою концентраторів. Для поновлення амплітуди і форми сигналу після проходження через фізичне середовище використовуються регенератори.

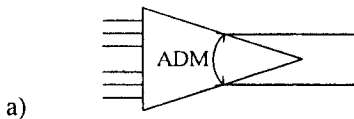
В SDH усі ці функції виконує синхронний мультиплексор SMUX.

3.2 Основні функції мультиплексора

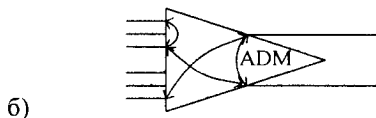
Більшість функціональних блоків SDH фізично об'єднуються в одному пристрої – синхронному мультиплексорі, тому при складанні функціональних схем топологій мереж прийнято умовно розділяти типи мультиплексорів за функціями (TM, ADM, MUX, DXC). При використанні мультиплексора введення-виведення основною функцією як мультиплексора є введення та виведення основних потоків, а також їх перезавантаження.

1. За допомогою ADM можна здійснювати різні типи комутації, як зображено на рис. 3.4, а...в:

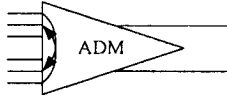
а) прохідна комутація.



б) внутрішня комутація.



в) локальна комутація.



в)

Рисунок 3.4 – Комутація в ADM

а) прохідна комутація, б) внутрішня комутація, в) локальна комутація

Комутації можуть здійснюватись як на рівні фізичних з'єднань, так і на рівні віртуальних контейнерів.

2. При використанні ADM як термінального мультиплексора здійснюється мультиплексування і демultipлексування вхідних потоків PDH і SDH, що показано на рис. 3.5.

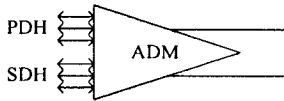


Рисунок 3.5 – ADM як термінальний мультиплексор

3. Використання ADM як концентратора. При такому використанні ADM об'єднує декілька однотипних потоків, як подано на рис. 3.6.

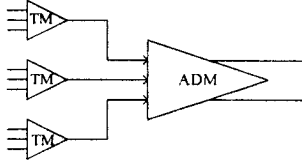


Рисунок 3.6 – ADM як концентратор

За рахунок функції концентратора з'являється можливість розвантаження основної мережі.

4. ADM як регенератор. Агрегатні виходи мають потужні оптичні підсилювачі, тому мультиплексор можна використовувати як регенератор форми сигналу. Як правило в мережах функція регенерації виконується одночасно з комутацією. ADM як регенератор зображено на рис. 3.7.

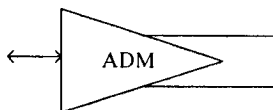


Рисунок 3.7 – Комутація в ADM

Основною складовою частиною ADM є комутаційна матриця (крос-

комутатор).

3.3 Основні функції крос-комутатора

Синхронний крос-комутатор DXC забезпечує заблокувальну комутацію потоків на рівні віртуальних контейнерів або на фізичному рівні. Організація крос-комутатора відповідає розмірам $n \cdot n$, яка має 3 типи виводів, як показано на рис. 3.8.

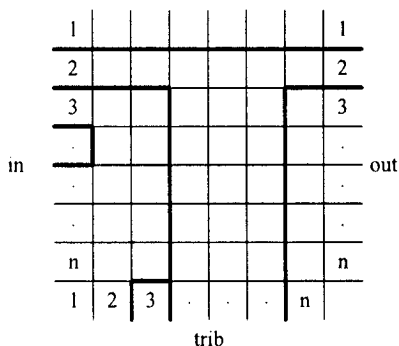


Рисунок 3.8 – Організація крос-комутатора

Позначення in та out умовні, бо вони працюють в обидві сторони. Входи in та out називаються лінійними, відповідно trib - трибні входи або входи доступу.

Прохідна комутація: in – out; out - in (1-1).

Внутрішня комутація: in \leftrightarrow trib (2 \leftrightarrow 3); out \leftrightarrow trib (2 \leftrightarrow (n-1)).

Локальна комутація – in-in (3 - 4), out-out (3 - (n-1)), trib - trib (2 - 3).

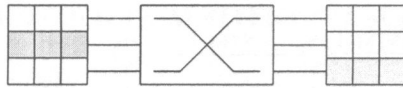
За рахунок можливості заблокування потоку з'являється можливість введення та виведення окремих трибних потоків в лінійний потік. При цьому зв'язок між кінцевими лінійними точками не порушується.

Розмір матриці залежить від рівня модуля STM. За рахунок фізичних обмежень як правило розмір матриці не перебільшує 4096·4096.

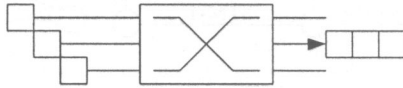
3.4 Функції комутатора

Можливість комутації як на логічному, так і на фізичному рівні дозволяє виконувати такі функції, як зображено на рис. 3.9, а...е:

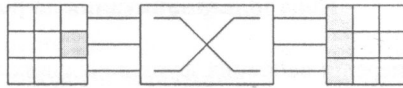
а) маршрутизація (routing).



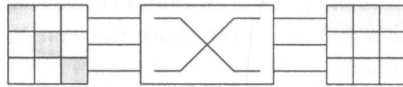
б) консолідація (consolidation).



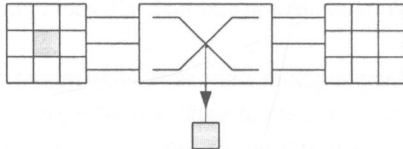
в) трансляція, точка, мультиточка. Коли здійснюється трансляція точка – всі точки, ця операція називається бродкастинг.



г) сортування за типом (grooming).



д) введення-виведення блоків при тестуванні (test access).



е) введення-виведення для окремих потоків (drop-insert).

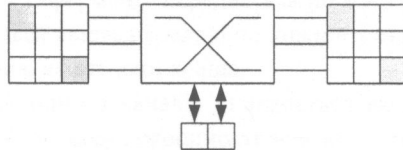


Рисунок 3.9 – Основні функції крос-комутатора

За допомогою комутації можливе розвантаження мереж при створенні топологій типу «зірка» або в ґратчастих структурах. Тут об'єднуються різнотипні потоки, тому воно називається технологічним кільцем, що продемонстровано на рис. 3.10, а.

В ґратчастих структурах за допомогою комутації є можливість забезпечити зв'язок «кожен з кожним», як показано на рис. 3.10, б.

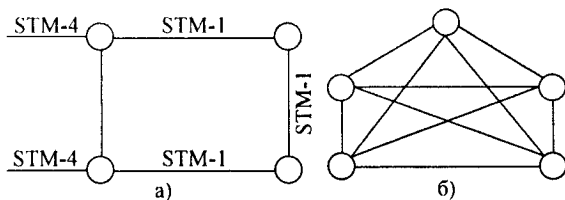


Рисунок 3.10 – Крос-комутатор в ґратчастих структурах

Контрольні запитання до розділу 3

1. Навести перелік основних функціональних модулів SDH і пояснити їх призначення.
2. Навести приклади функціонального застосування мультиплексорів.
3. Навести основні функції та схеми їх реалізацій для крос-комутаторів.
4. Пояснити поняття: «внутрішня комутація», «локальна комутація», «прохідна комутація».
5. Пояснити основні методи крос-комутації.

4 ТОПОЛОГІЇ ТА АРХІТЕКТУРА SDH

4.1 Базові топології SDH

Мережі SDH будуються як сполучення базових топологій. До базових топологій відносять:

- точка-точка;
- лінійне коло;
- сплющене кільце;
- зірка;
- гратчаста топологія як сукупність зірок;
- кільце (основна топологія).

Розглянемо кожну з топологій детальніше.

Топологія «точка-точка» подана на рис. 4.1.

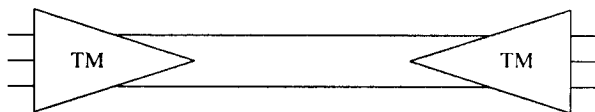


Рисунок 4.1 – Топологія «точка-точка»

У такій топології теоретично можливо використання лише одного агрегатного вузла. При використанні лише одного виходу не можливо організувати захист мережі. Тому частіше використовують зв'язок на парі виходів, який дозволяє створити захист чи резервування 1+1; 1:1.

При захисті типу 1+1 інформація передається по обох лінях. На приймальному кінці аналізується якість передачі по кожній з цих ліній і автоматично вибирається та лінія, якість якої краща.

При захисті типу 1:1 один з каналів вибирається як пріоритетний, а другий – як резервний. У випадку погіршеності зв'язку у пріоритетному каналі здійснюється перемикавання на резервний.

Топологію такого типу застосовують в радіально кільцевих структурах мережі при зв'язку між кільцями і при великих об'ємах трафіка.

Топологія «послідовне лінійне коло» наведена на рис. 4.2.

Використовується при відносно невеликих трафіках, але при наявності на проміжній ділянці споживача. У такому випадку резервування дуже складне.

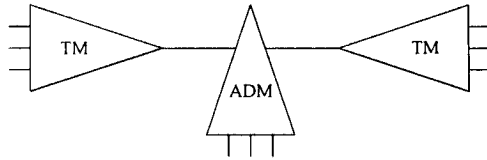


Рисунок 4.2 – Топологія «послідовне лінійне коло»

На основі лінійного кола будується «сплющене кільце», зображене на рис. 4.3.

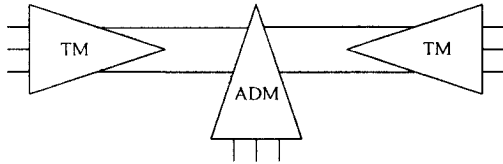


Рисунок 4.3 – Топологія «сплющене кільце»

Таку топологію можна розглядати як лінійне коло з резервуванням, але за своєю структурою воно створює кільцеву топологію і забезпечує ті ж методи захисту, що і кільцеві структури.

При введенні-виведенні до транспортної мережі використовують топологію типу «зірка», що показана на рис. 4.4.

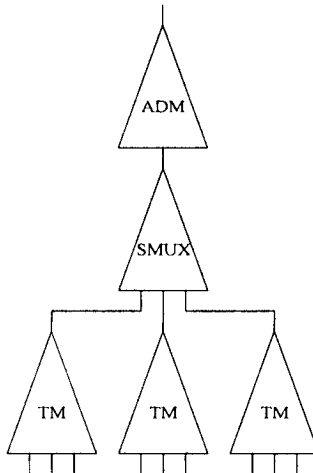


Рисунок 4.4 – Топологія «зірка»

Найчастіше використовується при об'єднанні однотипних потоків у потік вищого рівня і як елемент ґратчастих структур.

Топологія «кільце» є однією із основних базових топологій, вона подана на рис. 4.5.

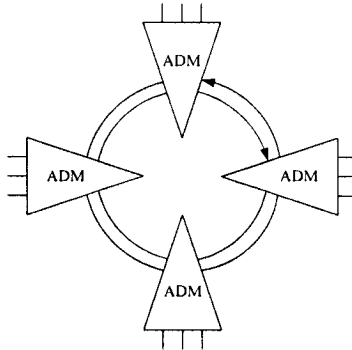


Рисунок 4.5 – Топологія «кільце»

При використанні лише пари агрегатних виходів створюється односпрямоване кільце, при використанні двох пар - двоспрямоване, яке дозволяє організувати захист кільця за схемою 1+1 чи 1:1. Двоспрямоване кільце є на сьогодні основною топологією транспортних мереж.

4.2 Функціональні способи захисту в мережах SDH

Мережі SDH відносять до систем з самооновленням. Висока життєздатність SDH обумовлена захистом каналу зв'язку на функціональному, топологічному і архітектурному рівні.

До функціональних методів захисту відносять:

- 1) захист за схемою 1+1 чи 1:1 по рознесених трасах;
- 2) створення кільцевих структур або топологій в односпрямованому кільці захист здійснюється за рахунок замикання пошкоджених ділянок, як наведено на рис. 4.6.

При пошкодженні вузлових мультиплексорів можна організувати замикання входів за рахунок обходу мультиплексора. У двоспрямованому кільці організуються такі ж системи захисту і захист 1+1 чи 1:1 для самого кільця;

- 3) резервування термінального обладнання і використання 1+1 чи 1:1;
- 4) автоматична реконфігурація мережі – оперативне перемикання.

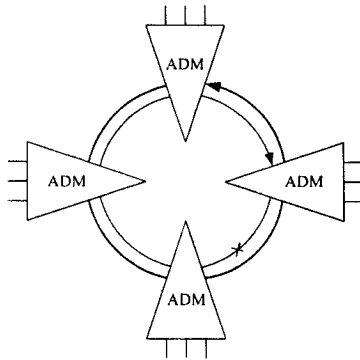


Рисунок 4.6 – Захист в кільцевих структурах

4.3 Архітектура мережі SDH

Вона буде базуватись на базових топологіях. Стандартами передбачено при розробці мереж використовувати архітектурні рішення (основи, black bone):

- радіально-кільцева архітектура;
- «кільце-кільце»;
- гратчаста структура;
- довге лінійне коло.

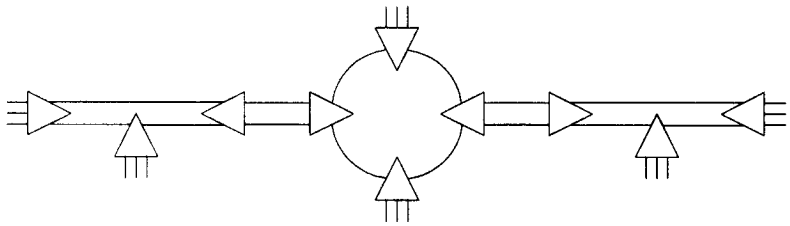


Рисунок 4.7 – Радіально-кільцева архітектура транспортної мережі

Радіальні лінії, що зображені на рис. 4.7, рекомендується виконувати за топологією послідовного лінійного кола (сплющеного кільця).

На ділянках, де немає відгалужень, можна з'єднувати за топологією «точка-точка» з резервуванням типу 1+1 чи 1:1.

В залежності від щільності потоків кільця можуть з'єднуватись на рівні інтерфейсів або шляхом каскадного з'єднання. При з'єднанні на рівні інтерфейсів обидва кільця мають бути однакового рівня, як показано на рис. 4.8.

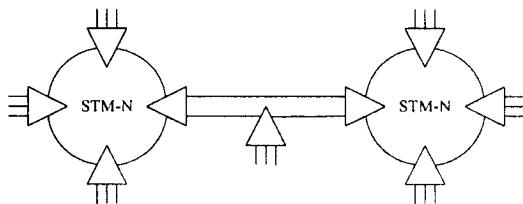


Рисунок 4.8 – Каскадне з'єднання «кільце-кільце» одного рівня

Швидкість в лінії з'єднання визначається пропускною здатністю найбільш завантаженого кільця. Передача інформації з кільця на кільце здійснюється через інтерфейсну плату мультиплексора. При з'єднанні кілець різного рівня використовується каскадне з'єднання кілець відповідної ієрархії, як зображено на рис. 4.9.

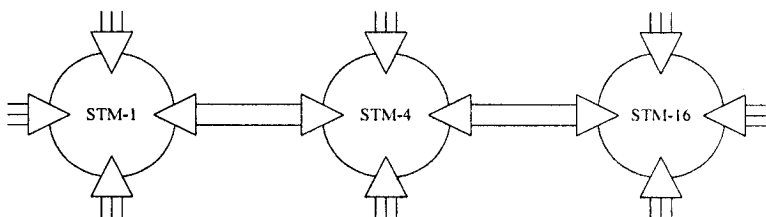


Рисунок 4.9 – Каскадне з'єднання кілець різного рівня

Каскадне з'єднання дозволяє порівняти навантаження на мультиплексорі кожного з кілець.

Гратчаста структура історично обумовлена наявністю існуючих до впровадження SDH транспортних мереж. Вона наведена на рис. 4.10.

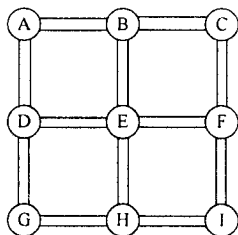


Рисунок 4.10 – Гратчаста структура

Кожна точка – це мультиплексор в вузлових точках ґратки, розташовані мультиплексори введення/виведення. Швидкість кожного з мультиплек-

сорів залежить від кількості потоків, які проходять по гілках, включаючи резервні.

Якщо A - STM-4, то в B і D можуть бути STM-1 або STM-4.

Швидкість мультиплексорних вузлових точок може відрізнятись. Резервування в ґратчастій мережі здійснюється за рахунок реконфігурації мережі. При цьому напрямки резервних потоків описуються на рівні проектування.

При використанні у вузлових точках потужних комутаторів SDXC (синхронних) може створитися архітектура ґратки зі з'єднанням типу «кожен з кожним», як подано на рис. 4.11.

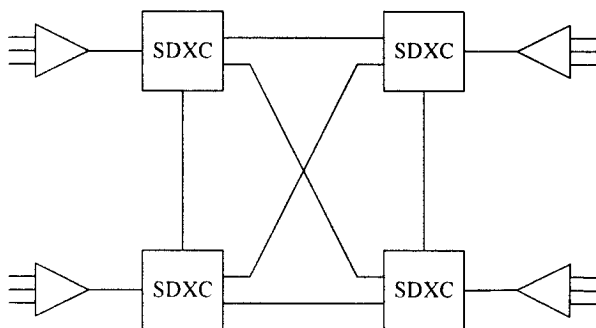


Рисунок 4.11 – Архітектура на базі крос-комутаторів

Резервування здійснюється за рахунок оперативної реконфігурації мережі.

Архітектура «довге лінійне коло» передбачена стандартами G653 і G654, вона наведена на рис. 4.12.



Рисунок 4.12 – Архітектура «довге лінійне коло»

Складання VC здійснюється на рівні мультиплексорних секцій (MS) однієї точки маршруту і розробка в MS другої точки маршруту. Керування складанням VC здійснює MSON.

В регенераторній секції проводиться аналіз стану оптимальної секції (середовище) і керування здійснює RSOH.

4.4 Спряження SDH з іншими мережами

Відповідно до існуючих стандартів SDH підтримує мережі PDH та SONET. Тому такі мережі вмикаються на рівні трибу до мультиплексора SDH без додаткового обладнання. При резервуванні в таких мережах досить часто передбачається можливість передачі резервних потоків через мережу PDH та SONET.

Формати типу Frame Relay і ATM в мережі SDH не підтримуються. Задача завантаження потоків лежить на рівні доступу до SDH. Наприклад, для узгодження ATM з SDH застосовують спеціальні комутатори ATM, які можуть бути окремими вузлами або входити до мультиплексорів SDH як інтерфейсні плати.

Структура, яка забезпечує спряження SDH з ATM, зображена на рис. 4.13.

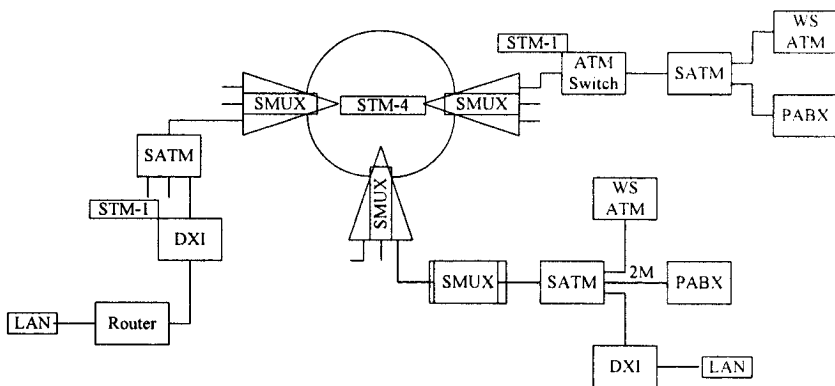


Рисунок 4.13 – Спряження SDH з ATM

ATM формується і розбирається на рівні користувача. Тому для завантаження ATM в VC, наприклад, в VC4 або VC4x для передачі нестандартного завантаження може бути використаний комутатор доступу SATM, який також передбачає комутацію потоків на рівні STM-1. Після цього передача до кінця здійснюється на рівні трибу STM-1. Для попередження переформатування ATM використовується DXI-інтерфейс обміну даними.

Безпосередньо АТМ формується в локальній мережі LAN, маршрут АТМ визначається роутером. При наявності декількох вхідних потоків АТМ для виключення перевантаження кільця може бути застосований АТМ SWITCHER. Потoki можуть поступати від робочих станцій АТМ WSАТМ або від приватної телефонної мережі PABX.

При наявності декількох потоків з АТМ, наприклад від WSАТМ, PABX і від LAN, перетворення в потоки SDH може бути здійснене за допомогою комутатора SATM – після нього цей потік переформатований під фрейм АТМ.

4.5 Особливості обладнання мереж SDH

Основним елементом SDH є мультиплексор. Його структура і функціональні особливості визначаються виробником. Але обов'язковими елементами є:

- крос-комутатор;
- агрегатний і трибний блоки;
- блок керування, до якого входить менеджер корисного навантаження.

Незалежно від виробника мультиплексор передбачає резервування основних блоків 1:1 і допоміжних трибних блоків n:1.

Типова структура мультиплексора наведена на рис. 4.14.

A і B – агрегатні блоки, які зарезервовані. Резервуються і мультиплексори цих блоків. Крім того, за рахунок створення обхідних шляхів є можливість керування одним мультиплексором двома блоками.

Обхідні шляхи зроблені таким чином, що основні мультиплексори і резервні з'єднуються кожен з кожним.

Крос-комутатор також передбачає резервування. В основному такий комутатор призначений для введення/виведення трибних потоків.

Трибні блоки резервуються за схемою n:1. Керування резервними трибами здійснюється окремим контролером – блоком резервних трибів.

Основне керування потоками SDH може здійснюватись по службовому каналу від робочої станції. EOW оператори CSA через інтерфейс F або від

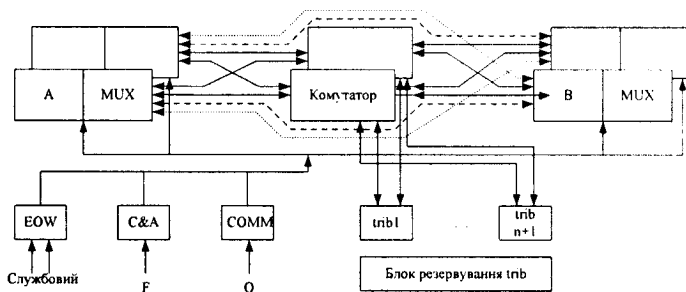


Рисунок 4.14 – Типова структура мультиплексора

зовнішньої робочої станції COOM (або USB) через інтерфейс Q.

Обробка основних потоків і організація їх проходження через комутатор може здійснюватись на оптимальних рівнях.

4.6 Приклад розробки мережі SDH

До основних етапів проектування мереж можна віднести:

- визначення кількості потоків між вузловими станціями на існуючий момент і в перспективі розвитку;
- визначення топології мережі та способи захисту;
- аналіз потоків в вузлових станціях і вибір типу обладнання;
- вибір постачальника і номенклатури обладнання;
- складання конфігурації мережі.

Розглянемо на прикладах розробки нової мережі, яка складається з 6 вузлових станцій. При проектуванні врахуємо її перспективи розвитку.

На рівні аналізу потоків необхідно скласти таблицю потоків по вузлах мережі з врахуванням резервування певної кількості потоків.

Для зручності швидкості окремих потоків подамо еквівалентними потоками E1 в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Розподіл потоків E1 між вузлами

	A	B	C	D	E	F
A		70/14	50/10	60/12	15/3	17/4
B	70/14		17/4	10/4	7/2	8/2
C	50/10	17/4		7/7	3/1	-
D	60/12	10/4	7/7		-	4/1
E	15/3	7/2	3/1	-		2/0
F	17/4	8/2	-	4/1	2/0	
Σ	212/43	112/26	77/22	81/24	27/6	31/7

Під дробом – захищені потоки, які обов'язково потрібно резервувати.

Вибір топології мережі здійснюється так, щоб найбільш ефективно використати обладнання.

Розглянемо такі варіанти.

Кільцева топологія (6 мультиплексорів) – рівень мультиплексорів визначається потоком максимального вузла. В цьому випадку це вузол А (212 потоків), тому необхідне кільце STM-4.

Радіально-кільцева – кільце на рівні STM-4 об'єднує А, В, С, D. Станції Е і F можуть підключатись до кільця різними способами. В такому випадку зв'язок станцій Е і F буде здійснюватись через мультиплексор кільця, що може призвести до перевантаження мультиплексора в аварійному режимі. При радіально-кільцевій структурі для забезпечення захисту в аварійній ситуації без впливу на роботу кільця необхідно буде додати мультиплексор, який об'єднує потоки станцій Е і F, які з'єднано за топологією сплющеного кільця, як показано на рис. 4.15.

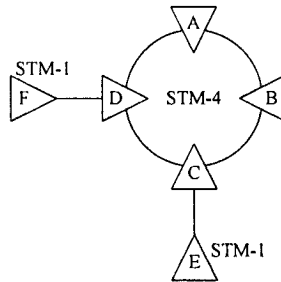


Рисунок 4.15 – Кільцева реалізація мережі

Гратчаста структура – одним з показників гратчастої структури є можливість використовувати в мережі мультиплексори різних рівнів і можливість організувати захист шляхом рознесення маршруту, як зображено на рис. 4.16.

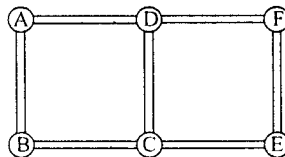


Рисунок 4.16 – Гратчаста структура мережі

Вузли А, В, С, D – це мультиплексори рівня STM-4, а Е і F – STM-1. При виборі резервного маршруту в ґратчастій структурі необхідно визначити завантаження кожної з гілок між станціями.

Вибираємо такий резервний маршрут:

A-B=>A-D-C-B;

A-C=>A-B-C;

B-D=>AB-A-D;

C-D=>C-B-A-D;

C-E=>C-D-F-E;

D-F=>D-C-E-F;

E-F=>E-C-D-F.

Визначаємо навантаження на кожну гілку, результати заносимо до таблиці 4.2:

Таблиця 4.2 – Навантаження на гілки

A-B	A-C	B-D	C-D	C-E	D-F	E-F
A-B 70	A-B _p 14	A-B _p 14	A-B _p 14	A-E 15	A-E _p 3	A-E _p 3
A-C _p 10	A-C 50	A-C _p 10	A-C _p 10	A-F 17	A-F _p 4	A-F _p 4
A-D 60	A-D _p 12	A-D 60	A-D _p 12	B-E _p 12	B-E 7	B-E 7
A-E _p 3	A-E 15	A-E _p 3	B-C 17	B-F _p 2	B-F 8	B-F _p 2
A-F _p 4	A-F 17	A-F _p 4	B-D _p 4	C-E 3	C-E _p 1	C-E _p 1
B-C _p 4	B-C _p 4	B-C 17	C-D 7	D-F _p 1	D-F 4	D-F _p 1
B-D _p 4	B-D _p 4	B-D 10	C-E _p 1	-	-	E-F 2
B-E _p 2	B-E _p 12	B-E 7	D-F _p 1	-	-	-
B-E _p 2	B-E _p 2	B-E 1	D-F _p 1	-	-	-
B-F _p 2	B-F _p 2	B-F 8	-	-	-	-
C-D _p 7	C-D _p 7	C-D _p 7	-	-	-	-
166	127	140	60	40	27	33

При такому розподілі маршрутів максимальне завантаження в гілках не перевищуватиме STM-4, що дозволяє використовувати мультиплексор STM-4 А,В,С,Д. Зменшене завантаження вузла D дозволяє забезпечити резервування на майбутнє.

Контрольні запитання до розділу 4

1. Навести приклади базових топологій мереж SDH.
2. Пояснити основні принципи захисту і резервування в SDH.
3. Навести переваги та недоліки кільцевих структур.
4. Навести алгоритм розрахунку топології «ґратчастої» мережі.
5. Навести архітектуру мереж типу «кільце-кільце».
6. Навести архітектуру мереж розгалуженого типу із застосуванням крос-комутаторів.

5 КЕРУВАННЯ В МЕРЕЖАХ SDN

5.1 Чотирирівнева модель керування мережею

Керування в SDN має забезпечити безперервний режим сервісу, який забезпечує безперервність трафіка. У зв'язку з цим керування мережею повинно здійснюватись за допомогою системи, яка оперує в мережі (OC).

Керування мережею здійснюється за рахунок обміну різномірною інформації між OC і мережевими елементами (NE).

Керування здійснюється відповідно до концепцій TMN. Згідно з ними, в мережі здійснюється бізнес-менеджмент за рахунок BOS, сервіс-менеджмент за рахунок SOS, менеджмент мережі за допомогою NOS та елемент-менеджера (EM).

Функції мережевого елемента виконуються через елемент-менеджер за допомогою сервісних інтерфейсів, які передбачені для даної OC.

Загальна OC при наявності однотипних елементів керування може бути розбита на підсистеми.

При розподіленні OC зв'язок між ними здійснюється через мережу передачі даних DCN.

До мережі TMN відносяться елементи керування (від 1 до N, за якими розподілена OC). Керування мережею зв'язку TCN здійснюється через мережу передачі даних DCN, робота якої контролюється і керується робочою станцією WS. Робочу станцію також можна використовувати для створення OC. Централізованого керування в такій системі як правило немає. Нижні рівні є прозорими для менеджерів верхніх рівнів. Зв'язок між рівнями здійснюється через елемент-менеджера. Елементи транспортної мережі відповідно до TMN зображені на рис. 5.1.

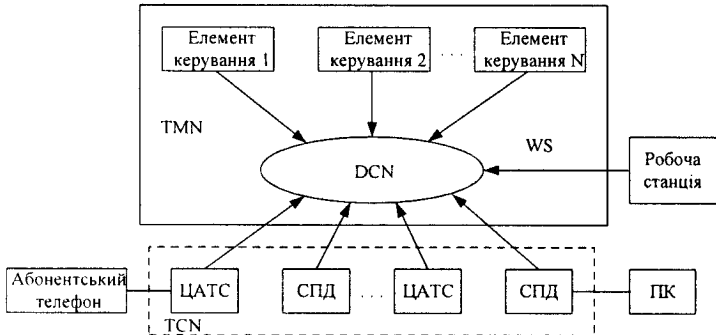


Рисунок 5.1 – Елементи транспортної мережі відповідно до TMN

Елемент-менеджер може передавати свої функції менеджеру мережі за рахунок використання функціональних можливостей елементів зв'язку і доступу до мультиплексорів, яким надані функції секцій передачі.

Менеджер мережі реалізує такі функції:

- функцію моніторингу мережі;
- моніторингу елементів;
- керування топологією мережі;
- локалізації в рамках виділеного шару.

Сервіс-менеджер виконує такі функції:

- моніторингу мережі;
- керування мережею;
- локалізації в рамках виділеного шару;
- збору і передачі інформації для бізнес-менеджера.

Бізнес-мережа: моніторинг і керування типами сервісу, передача запитів на більш низькі рівні.

Ядро мережі керування складають:

- елемент мережі (EN);
- елемент мережевого рівня (ME);
- елемент сервісу (SE).

В основу концепції TMN покладений безперервний зв'язок між ОС всіх чотирьох рівнів.

Таким чином, TMN підтримує 5 типів менеджменту - це керування робочими характеристиками системи, відмовами і надійністю системи, керування конфігурацією, бухгалтерською звітністю (білінг), безпекою та захистом мережі.

5.2 Архітектура TMN

Архітектура TMN може розглядатись як поєднання функціональних, інформаційних та фізичних засобів керування мережею, як показано на рис. 5.2.

Функціональні блоки TMN:

OSF – функція ОС;

MF (медіатори) – функція спряження мереж (M);

NEF – функція елементу мережі (NE);

QAF – функція Q-адаптера (QA);

WSF – функція робочої станції.

Для передачі функцій керування між блоками в TMN застосовується функція DCF. Пари інтерфейсних блоків, які обмінюються інформацією,

розділяються опорними (інтерфейсними) точками. В залежності від положення інтерфейсу і його функцій всередині TMN визначається тип точки.

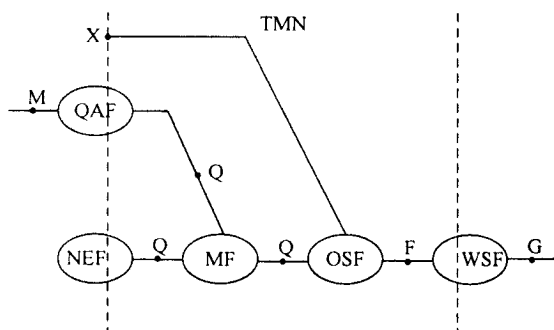


Рисунок 5.2 – Архітектура TMN

Функції QAF, NEF і WSF відносяться до TMN частково.

Функціональні блоки не лише виконують основні функції, а містять додаткові компоненти, які реалізують певні функції TMN.

OSF обробляє керуючу інформацію з метою моніторингу і реалізує функцію керуючого додатка MF – MAF.

Блок MF керує інформацією між блоками NEF, QAF і OSF.

NEF реалізує функцію зв'язку між блоками, які є елементами і об'єктами керування, а також реалізує керуючий додаток NEF – MAF.

QAF – підключає до TMN логічний об'єкт керування, а також реалізує функції додатка QAF–MAF.

WSF виконує інтерпретацію інформації TMN у вигляді, зручному для користувача.

Таким чином, ряд самостійних функцій включений до складу блоків TMN, а саме:

- MAF – функція керуючого додатка, який реалізує керуючий сервіс TMN і входить до складу блоків.
- MIB – функція бази керуючої інформації (інформаційного архіву). Ця функція не є стандартною для TMN, але використовується для моніторингу (RMON), а також використовує протокол SNMP (простий мережевий протокол керування мережею) в усіх блоках, крім робочої станції.
- ICF – функція перетворення інформації, яка використовується для трансляції інформації між блоками MF, QAF і OSF.

- PF – функція подання, використовується в WS.
- HMF – функція адаптації людина-машина, використовується в WSF.
- MCF – функція передачі повідомлень, забезпечується передача між всіма блоками.
- DCF – функція передачі даних для передачі інформації між блоками, які мають повноваження керування.

Опорні точки TMN. TMN визначає дві групи опорних точок, вони визначають межі сервісу.

I – внутрішні точки:

- 1) q – між блоками OSF, MF, NEF і QAF. Точки q та їх інтерфейс Q розділяються на дві групи:
 - q_x – розділяють блоки MF, якщо їх кілька і між MF і іншими блоками. Стандарти ITU-T, M-3100;
 - q_z – між різними OSF чи OSF і іншими блоками;
- 2) f – між OSF і WSF;
- 3) x – точки між двома TMN.

II – зовнішні точки:

- 1) g – між WSF і користувачем;
- 2) m – між QAF і іншими елементами і об'єктами, що не належать до TMN.

Відповідно до положення точок у функціональній структурі визначається положення інтерфейсів, як наведено на рис. 5.3.

Внутрішні опорні точки, а відповідно і інтерфейси Q і F, використовуються всередині однієї мережі TMN.

Для зв'язку між двома мережами використовується інтерфейс X.

Доступ до елементів іншої системи OSF здійснюється лише через OSF іншої системи.

Інтерфейси G і M є зовнішніми.

Функція передачі даних DCF призначена для передачі даних і створення транспортного механізму із обміну інформацією керування між блоками, які мають на це право.

Функція DCF між блоками TMN одного рангу здійснюється за допомогою однорангового зв'язку функції DCF, як зображено на рис. 5.4.

Керування між компонентами здійснюється через функцію MCF і якщо обидва блоки мають рівні права, то зв'язок між ними здійснюється на рівні однорангового зв'язку.

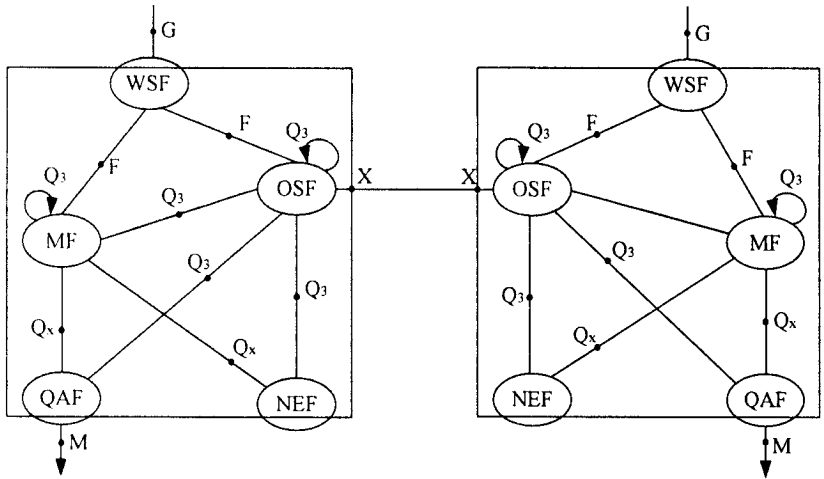


Рисунок 5.3 – Зв'язок між двома TMN

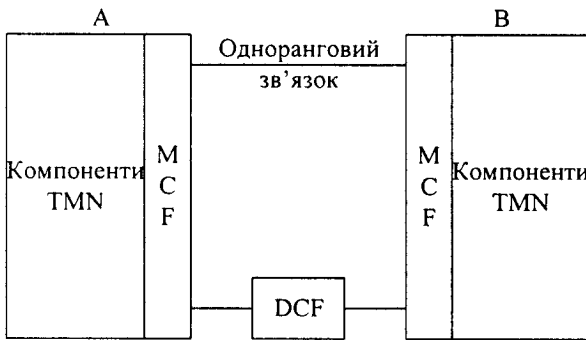


Рисунок 5.4 – Зв'язок між блоками одного рангу

Керування взаємодією між блоками здійснюється шляхом ретрансляції DCF на рівні OSI.

Таким чином реалізуються три перших рівні OSI: фізичний, канальний, мережевий.

Доступ керування до TMN здійснюється через зовнішні інтерфейси G і M і можуть приходити як від інших TMN, так і від користувача.

Під час доступу обов'язковим є забезпечення стандартних процедур захисту, перетворення інформації, трансляції функцій, обслуговування.

5.3 Інформаційний аспект архітектури TMN

На інформаційному рівні використовується об'єктивно-орієнтований

підхід, який базується на поняттях агент (А), менеджер (М) та об'єкт (О), як подано на рис. 5.5.

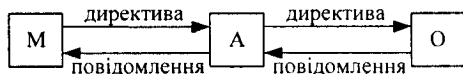


Рисунок 5.5 – Інформаційний аспект TMN

Один менеджер може керувати кількома агентами. В той же час один агент може надавати повідомлення і приймати керуючу інформацію (директиви) від декількох менеджерів.

Взаємодія між елементами мережі від менеджера до об'єкта керування здійснюється за допомогою директив від менеджера і повідомлень від об'єкта, які передаються через агента.

Усі взаємодії в мережі здійснюються на основі протоколів CMIP – загальної керуючої інформації і сервісу загальної керуючої інформації відповідно до рекомендацій ITU-T, X.710, X.711.

При взаємодії декількох систем TMN використовується та ж схема взаємодії: М-А-О.

Якщо мережі з TMN з'єднано каскадно, то взаємодія здійснюється послідовно з використанням інформаційних моделей нижчих систем, що показано на рис. 5.6.

Тут керування здійснюється від А через В до С.

М_А керує об'єктами (ресурсами) системи В, базуючись на інформаційній моделі системи В, яка зберігається в базі даних МІВ системи В. МІВ системи В прозора для менеджера системи А.

Система В доступна для М_А через А_В.

На основі інформаційної моделі менеджер А, використовуючи сервіс загальної інформації CMIS і протоколів CMIP, організовує рух протоколів OSI по стеку протоколів, починаючи зверху. На відповідному рівні директива протоколу подається до А_В, який керує ресурсом системи.

Зміна стану ресурсу під впливом директив, що отримані від М_А за допомогою М_В змінює базу даних системи В. Змінюється інформаційна модель.

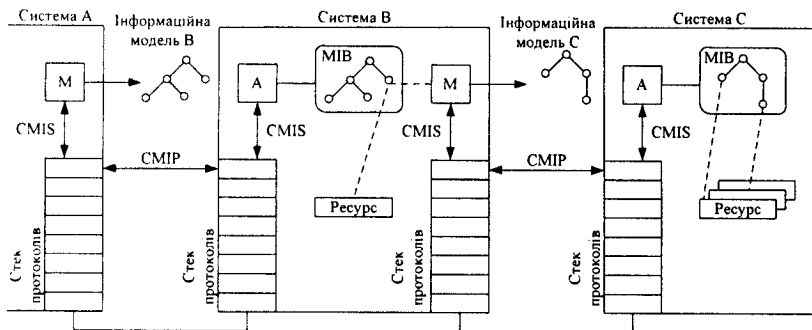


Рисунок 5.6 – Каскадне з'єднання систем TMN

Інформація про зміну через A_B за допомогою CMIP передається до M_A на рівні повідомлення. При керуванні системою C в тій же послідовності змінюються стани ресурсів та інформаційних моделей систем B і C.

При керуванні системою C за допомогою M_B взаємодія здійснюється також як і від A до B, але усі зміни стану ресурсів системи C знаходять відображення в базах даних і моделях системи B.

5.4 Загальні аспекти архітектури TMN

Функціональний та інформаційний аспекти є основою для архітектури TMN. В TMN можна виділити блоки, які виконують основні функції.

Елементи TMN можуть складатися з декількох підсистем, як зображено на рис. 5.7.

OS при передачі інформації через DCN має три основні типи інтерфейсів: X, F, Q.

OS керує адаптером QA і мережевим елементом NE через інтерфейс Q_3 .

Для елементів, які не повністю входять до мережі TMN і керування яких здійснюється через медіатор MD, зв'язок через DCN здійснюється через інтерфейс Q_X .

Керування MD може здійснювати як OS, так і WS. Тому керуюча інформація через DCN на MD може передаватись через інтерфейси Q_3 і F.

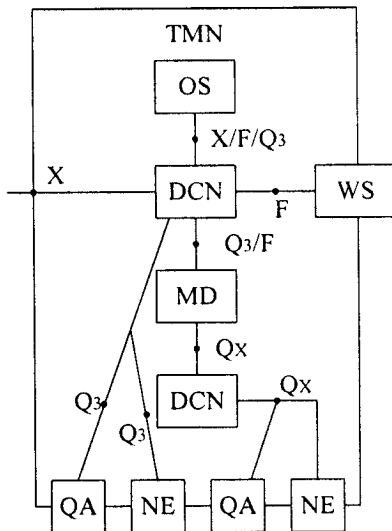


Рисунок 5.7 – Керування об'єктами в TMN

5.5 Протоколи TMN

Керування TMN, крім протоколів CMIP і CMIS, використовують протоколи, які використовують інтерфейси Q, F, X.

В SDH, яка використовує концепцію менеджер-агента, взаємодія між об'єктами через DCN реалізується з використанням функції MCF.

OS, яка має функцію керування і керуючого додатка MAF на рівні M, передає директиви до агента A медіатора MD і отримує від нього повідомлення через інтерфейс Q₃. Повідомлення від об'єктів керування MO через A елементів NE1 і NE2 передаються до OS через інтерфейс Q₃. Якщо MD має право і використовує функцію керування додатка, то на рівні M він може видавати директиви і отримувати повідомлення від NE1 через інтерфейс Q_x.

Керування протоколами NE1 від OS здійснюється через агента MD, далі, за рахунок функції керування на рівні M, формується директива для A NE1, який керує об'єктом MO. Повідомлення про виконання від об'єкта через A NE1 надходить до M MD, перетворюється в повідомлення для A медіатора і надходить до M OS. TMN для керування SDH загального типу подано на рис. 5.8.

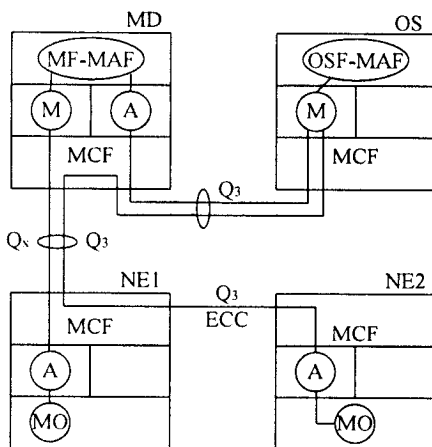


Рисунок 5.8 – TMN для керування SDH загального типу

Якщо ME має функцію керування MF-MAF, то взаємодія здійснюється послідовно, як показано на рис. 5.9.

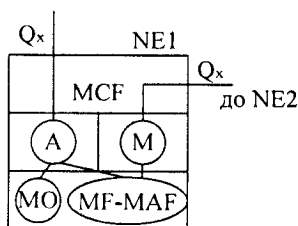


Рисунок 5.9 – Керування об'єктом з власною функцією MF-MAF

Для реалізації функцій керування, адміністрування і забезпечення надійності при передачі повідомлень по DCC використовується стек протоколів, орієнтованих на 7 рівнів OSI.

1. Фізичний – протокол DCC не оговорений. Швидкість передачі для регенеративної секції становить 192 кбіт/с, для мультіплексної секції – 576 кбіт/с.
2. Ланки даних – стек протоколу LAPD – протоколи доступу до ланки даних відповідно до рекомендації Q.921/ Через DCC забезпечується «точка-точка». Передбачає 2 типи сервісу:
 - 1) передача з підтвердженням прийому – AITS;
 - 2) передача без підтвердження прийому – VITS.

3. Мережевий рівень – рекомендації Q.811, ISO8473. Цей протокол не орієнтований на встановлення попереднього з'єднання. Цей стандарт визначає протоколи зведення. Вони розраховані як на встановлення попереднього з'єднання, так і на роботу без попереднього з'єднання. На рівні ланки даних використовується функція якості обслуговування, параметри якої задані стандартом 8473.
4. Транспортний – протоколи класу 4 відповідають рекомендації Q.812. Основна їх задача – надійна доставка даних. Тому протокол орієнтований як на попереднє з'єднання, так і на роботу без нього.
5. Сеансовий – протокол стандарту Q.812, забезпечує синхронізацію взаємодії систем із запитом на транспортне з'єднання
6. Рівень подання – протокол подавань Q.812. На цьому рівні забезпечується також нотація абстрактного синтезу таким чином, щоб це було зрозуміло для нижніх рівнів.
7. Прикладний – протоколи CMIP відповідно до стандарту ISO9596. Цей протокол забезпечує підтримку протоколів доступу і менеджменту.

В CMIP поданий сервісний елемент загального керування інформацією (SMISE), віддалений елемент керування інформацією (ROSE), асоційований елемент керування інформацією (ACSE).

Серед протоколів інтерфейсів взаємодії найбільш стандартизований Q-інтерфейс (CCITT, G.733). A1 і A2 – короткий стек. Замість B1, B2, B3 – стек протоколів CONS – стек протоколів, орієнтованих на попереднє з'єднання і неорієнтованих – CLNS1 і CLNS2.

В мережах взаємодії DCN може бути розбита на 2 частини: яка використовує протокол CONS і яка використовує CLNS.

CONS використовується для пакетних інтерфейсів X.25 (PSPDN), X.31 (ISDN) і інтерфейсів з протоколами систем сигналізації – в LAN X.25.

CLNS – при взаємодії з Ethernet з протоколами SS#7 і ШЗ протоколами для мереж X.25.

F – інтерфейс забезпечує взаємодію з WS, тому обмеження не накладаються, але доцільно використовувати рекомендації M-3300.

5.6 Реалізація функцій керування

До функцій керування в SDN відносять керування загальне:

- захист мережі;
- запит і отримання відповіді на доступ до мережі;
- вхід і вихід з відповідного доступу;

- керування повідомленнями;
- тестування;
- випробування обладнання;
- завантаження і модифікація програм включення нового обладнання до системи.

Також розглянемо керування повідомленнями про аварійні ситуації.

Аварійні ситуації виникають на рівні ME, тому для передачі повідомлень частіше використовується DCC-канал. Залежно від місця і типу аварійного повідомлення здійснюється реєстрація цих повідомлень.

Тип і місце зведено до таблиці 4.3

Таблиця 4.3 – Аварійні повідомлення

Повідомлення	Місце						
	SPI	RS	MS	NOVC	MOVC	PL/LPA	SETS
TF	R					R	
LOS	R					R	
LOF		R				R ³	
FERE				R	R		
TIM			R	R	R ²		
SLM				R	R		
LOM				R ¹			
LOP				R	R		
AIS			R	R	R		
EXE			O				
LTI							R
SD			O				

R – обов'язкова реєстрація;

R¹ – дія у випадку перевантаження з індексацією мультифреймів;

R² – якщо використаний байт J2 у VC-1 і VC-2;

R³ – у випадку, якщо навантаження має байт-синхронний характер.

Місце в якому здійснюється реєстрація:

SPI – фізичний інтерфейс;

RS і MS – регенераторна і мультиплексорна акції;

NOVC і MOVC – маршрут контейнерів високого і низького рівнів;

PP/LPA – при використанні плезіохронного інтерфейсу і при адаптації маршруту VC меншого рівня;

SETS – джерело синхронізації обладнання.

Типи аварійних повідомлень:

TF – збій при передачі;

LOS – втрата сигналу;

LOF – втрата фрейму;

FERE – збій прийому на віддаленому кінці;
TIM – незбіг ідентифікатора трасування;
SLM – незбіг типу сигналу;
LOM – втрата мультiframeїв;
AIS – індикація аварійного стану;
EXE – забагато помилок;
LTI – втрати синхронізації по виходу;
SD – низька втрата сигналу.

На основі цих повідомлень передаються повідомлення до менеджера. На рівні директив здійснюється зміна в базі даних і конфігурації елементів в мережі.

Контрольні запитання до розділу 5

1. Пояснити принципи взаємодії мереж на основі концепції OSI.
2. Навести основні принципи побудови чотирирівневої моделі керування мережі зв'язку.
3. Навести і пояснити призначення основних елементів TMN.
4. Навести функціональну схему взаємодії мереж TMN.
5. Навести і пояснити принципи керування всередині TMN.
6. Навести і пояснити основні директиви і повідомлення TMN.

6 СИНХРОНІЗАЦІЯ В МЕРЕЖАХ SDN

6.1 Джерела синхронізації

Проблема синхронізації мереж SDN є частиною загальної проблеми синхронізації цифрових мереж, що використовували раніше плезіохронну ієрархію. Загальні питання синхронізації, описані в рекомендації CCITT G.810, актуальні як для плезіохронних, так і для синхронних мереж. Відсутність хорошої синхронізації призводить, наприклад, до відносного "прослизання" цифрових послідовностей або "сліпів" (slip) і веде до збільшення рівня помилок синхронних мереж.

Мета синхронізації – отримати найкраще можливе хронуюче джерело або генератор тактових імпульсів або таймер для всіх вузлів мережі. Для цього потрібно не тільки мати високоточне хронуюче джерело, але й надійну систему передачі сигналу синхронізації на всі вузли мережі.

Система такого розподілу базується в наш час на ієрархічній схемі, що полягає в створенні ряду точок, де знаходиться первинний еталонний генератор тактових імпульсів PRC (ПЕГ), або первинний таймер, сигнали якого потім розподіляються по мережі, створюючи вторинні джерела – вторинний або підпорядкований еталонний генератор тактових імпульсів SRC (ВЕГ), або вторинний таймер, що реалізується або в вигляді таймера транзитного вузла TNC, або таймера локального (місцевого) вузла LNC. Первинний таймер зазвичай являє собою хронуюче атомне джерело тактових імпульсів (цезієвий або рубідієвий годинник) з точністю не гірше ніж 10^{11} . Він зазвичай калібрується вручну або автоматично за сигналами світового скоординованого часу UTC. Ці сигнали потім поширюються по наземних лініях зв'язку для реалізації того чи іншого методу синхронізації.

6.2 Методи синхронізації

Існують два основні методи вузлової синхронізації:

- ієрархічний метод примусової синхронізації з парою підпорядкованих - провідних таймерів;
- неієрархічний метод взаємної синхронізації.

Обидва методи можуть використовуватися окремо і в комбінації, проте, як показує практика, широко використовується тільки перший метод.

Впровадження мереж SDN, що використовують поряд зі звичною топологією "точка-точка", кільцеву і комірчасту топології, призвело до додаткової складності у вирішенні проблем синхронізації, тому що для двох

останніх топологій маршрути сигналів можуть змінюватися в процесі функціонування мереж.

Мережі SDH мають декілька дублюючих сигналів синхронізації:

- сигнал зовнішнього мережевого таймера, або сигнал із первинного еталонного таймера PRC, який визначається в рекомендації ITU-T G.811, сигнал з частотою 2048 кГц;

- сигнал з трибного інтерфейсу каналу доступу, аналог таймера транзитного вузла TNC, який визначається в рекомендації ITU-T G.812, сигнал з частотою 2048 кГц, що виділяється з первинного потоку 2048 Кбіт/с;

- сигнал внутрішнього таймера, або таймера локального вузла LNC, який визначається в рекомендації ITU-T G.812, сигнал 2048 кГц;

- лінійний сигнал STM-N, або лінійний таймер, сигнал 2048 кГц, що виділяється з лінійного сигналу 155,520 Мбіт/с або $4n \cdot 155,520$ Мбіт/с.

Враховуючи, що триби 2 Мбіт/с відображаються у віртуальні контейнери і можуть плавати в рамках структури вкладених контейнерів, що використовують покажчики, їх сигнали повинні бути виключені зі схеми синхронізації SDH мережі. Точність сигналів внутрішнього таймера порядку $1-5 \cdot 10^{-6}$ – мала, враховуючи можливість накопичення помилки в процесі так званого "каскадування сигналів таймерів", коли вузол мережі відновлює сигнал таймера щодо прийнятого сигналу і передає його наступному вузлу. У цьому сенсі найбільш надійними джерелами синхронізації є сигнал зовнішнього мережевого таймера і лінійний сигнал STM-N.

Цілісність синхронізації мережі PDH базувалася на використанні ієрархічної примусової синхронізації (підпорядкований / провідний таймери). У ній проходження сигналів таймерів через вузли мережі було прозорим. У мережі SDH, відновлювальний в кожному вузлі сигнал таймера з лінійного сигналу STM-N, така прозорість втрачається. У цій ситуації цілісність синхронізації мережі SDH краще підтримується при використанні розподілених первинних еталонних джерел PRS, що дозволяє усунути ефекти "каскадування сигналів таймерів".

6.3 Режими роботи і якість хронуючого джерела

Передбачається чотири стандартних режими роботи хронуючих джерел вузлів синхронізації:

- режим первинного еталонного таймера PRC або генератора ПЕГ (майстер вузол);

– режим примусової синхронізації – режим підпорядкованого задаючого таймера SRC або генератора ВЗГ (транзитний та / або місцевий вузли);

– режим утримання з точністю утримання - $5 \cdot 10^{10}$ для транзитного вузла та - $1 \cdot 10^8$ для місцевого вузла і добовим дрейфом - $1 \cdot 10^9$ і $2 \cdot 10^8$ відповідно;

– вільний режим (для транзитного та місцевого вузлів) – точність підтримки залежить від класу джерела і може становити - $1 \cdot 10^8$ для транзитного та $1 \cdot 10^6$ для місцевого вузлів.

Організації ITU-T і ETSI запропонували використовувати поняття рівень якості хронуючого джерела. Цей рівень може бути переданий у вигляді повідомлення про стан синхронізації SSM через заголовок фрейму STM-N для чого використовуються біти 5–8 байтової синхронізації (наприклад S1), або послідовністю резервних біт у фреймі E1 2 Мбіт/с. У цьому випадку при збої в мережі, що призвело до захисного перемикавання, мережевий елемент має можливість відправити повідомлення таймеру про необхідність використовувати сигнал синхронізації, відновлений з альтернативного маршруту.

Сучасні системи керування мережею можуть використовувати до шести рівнів якості хронуючого джерела (таблиця 6.1).

Таблиця 6.1 – Можливі рівні якості хронуючого джерела

Символ	Рівень якості хронуючого джерела
PRC або G.811	Первинний еталонний таймер PRC, ССІТТ G.811
Unknown	Рівень якості невідомий
TNC або G.812T	Таймер транзитного вузла TNC, ССІТТ G.812
LNC або G.812L	Таймер локального вузла LNC, ССІТТ G.812
SETS	Таймер власне вузла SDH, ініційований лінійним STM-N сигналом
Don't use	Не використовується для цілей синхронізації

Атестация типу "рівень якості невідомий" означає, що сигнал хронуючого джерела отримано зі старого обладнання SDH, на якому не реалізований сервіс повідомлень про статус синхронізації. Повідомлення "не використовується для цілей синхронізації" може прийти від блока, чий інтерфейс STM-N використовується в даний момент для цілей синхронізації.

6.4 Використання світового скоординованого часу

Серед хронуючих джерел найбільш універсальним і точним є світовий скоординований час UTC. Для його трансляції використовуються супутникові системи LORAN-C і глобальна система позиціонування GPS. Традиційні системи прийому UTC потребують значних витрат і використовуються як правило в центрах супутникового зв'язку. Однак у зв'язку з широким розвитком GPS була розроблена альтернатива первинним еталонним джерелам PRS – технологія локальних первинних еталонів LPR, основана на використанні UTC для підстроювання частоти. Багато телефонних компаній використовують цю технологію в місцях розгортання GPS для створення альтернативи таймерам класу TNC на транзитних вузлах. На таких вузлах як таймери TNC встановлюються поліпшені рубідієві годинники. У комбінації з технологією LPR використання синхронізації від UTC дозволяє отримувати локальні первинні еталони, які суттєво перебивають вимоги щодо точності 10^{11} , що встановлюються стандартами ITU-T і ETSI для первинних еталонних таймерів.

Створення системи розподілених первинних еталонних хронуючих джерел не тільки дозволяє збільшити надійність синхронізації мереж SDH, а й усуває (при використанні повідомлень про статус синхронізації) можливість порушення синхронізації при здійсненні захисного перемикавання в кільці SDH або комірчастій мережі SDH.

6.5 Приклад синхронізації кільцевої мережі SDH

Основною вимогою при формуванні мережі синхронізації є наявність основних і резервних шляхів розповсюдження сигналу синхронізації. Однак і в тому, і в іншому випадку повинна строго дотримуватися топологія ієрархічного дерева і забезпечуватись відсутність замкнутих петель синхронізації. Іншою вимогою є наявність альтернативних хронуючих джерел. Ідеальна ситуація, коли альтернативні джерела проранжовані відповідно до їх пріоритету і статусу.

При акуратному формуванні мережевої синхронізації можна уникнути виникнення замкнутих петель синхронізації як в кільцевих, так і в комірчастих мережах. Використання повідомлень про статус синхронізації дозволяє в свою чергу підвищити надійність функціонування мереж синхронізації. На рисунку 6.1 і 6.2 наведена схема синхронізації кільцевої мережі SDH, де схема на рис. 6.1 відповідає нормальному функціонуванню мере-

жі, а схема на рис. 6.2 – збою, викликаного розривом кабелю між вузлами В і С.

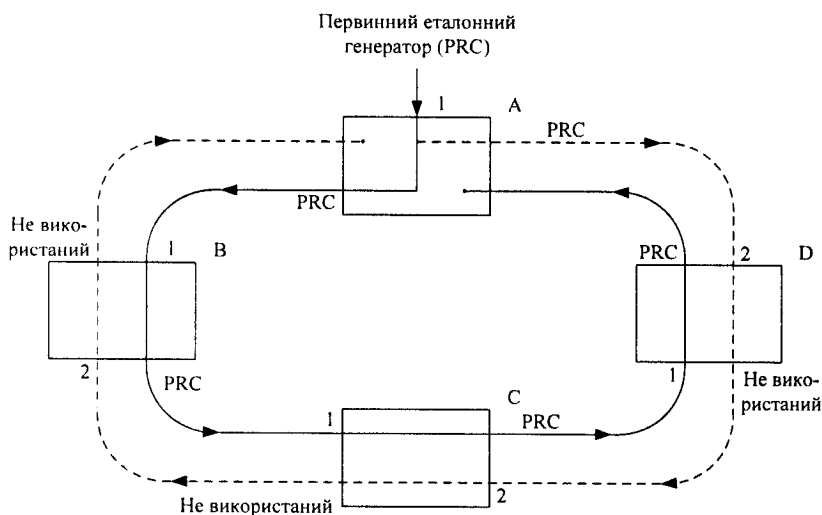


Рисунок 6.1 – Схема синхронізації кільцевої мережі SDH при нормальному функціонуванні

Схема використовує класичний ієрархічний метод примусової синхронізації. Один з вузлів (вузол А) призначається провідним (або майстер-вузлом) і на нього подається сигнал синхронізації від зовнішнього PRC. Від цього вузла основна синхронізація (джерело першого пріоритету) розподіляється в напрямку проти годинникової стрілки, тобто до вузлів В, С і D. Синхронізація за резервною гілкою (джерело другого пріоритету) розподіляється за годинниковою стрілкою, тобто до вузлів D, С та В. Початковий розподіл хронуючих джерел по вузлах наведено в таблиці 6.2.

Таблиця 6.2 – Розподіл джерел синхронізації кільцевої мережі

Вузол	Джерело першого пріоритету	Джерело другого пріоритету
Вузол А	Зовнішній 2 МГц PRC	Не передбачено
Вузол В	Лінійний сигнал STM-N від вузла А	Лінійний сигнал STM-N від вузла С
Вузол С	Лінійний сигнал STM-N від вузла В	Лінійний сигнал STM-N від вузла D
Вузол D	Лінійний сигнал STM-N від вузла С	Лінійний сигнал STM-N від вузла А

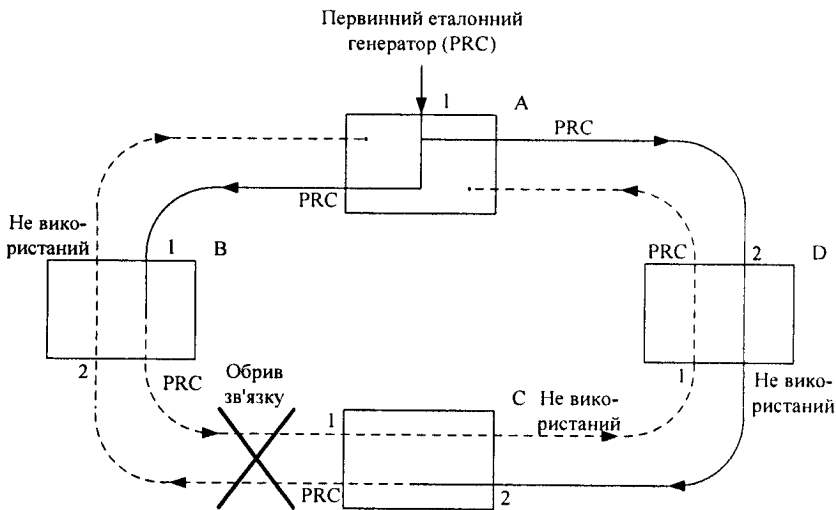


Рисунок 6.2 – Схема синхронізації кільцевої мережі SDH при зворотному зв'язку

При розриві кабелю між вузлами B і C вузол C, не отримуючи сигналу синхронізації від вузла B, переходить в режим утримання синхронізації і посилає вузлу D повідомлення про статус SETS рівня якості синхронізації. Вузол D, отримавши повідомлення про рівень якості синхронізації від A і C і, вибравши кращий (від A), посилає вузлу C повідомлення "PRC" замість "Don't use". Вузол C, отримавши це повідомлення від вузла D, змінює джерело синхронізації на "PRC" від D.

6.6 Приклад синхронізації комірчастої мережі SDH

Комірчасті і ґратчасті топології мереж часто використовуються при транспортуванні інформації, і тому для мережі синхронізації створюються технологічно замкнуті кільця, що є неприпустимим.

Розглянемо схему синхронізації в комірчастій мережі SDH. Один із прикладів формування кіл синхронізації в такій мережі наведено на рисунку 6.3. Мережа має 12 вузлів і нескладну транспортну топологію зірки, що включає кілька лінійних ділянок, пов'язаних через вузли концентраторів.

Для полегшення завдання побудови мережі синхронізації, схема розбивається на кілька кіл синхронізації, враховуючи при цьому особливості топології вихідної транспортної мережі. Отримані ланцюги: W, X, Y, Z – по-

казані в нижній частині рисунка 6.3. Цифрами 1 і 2 на цьому рисунку показані пріоритети у використанні сигналів синхронізації. Суцільною лінією показані основні канали синхронізації, пунктиром – резервні канали синхронізації. Майстер-вузли заштриховані.

Для розподілу синхронізації використовується та ж ієрархічна схема. Кожен ланцюг синхронізації може бути забезпечений одним або двома вузлами, які отримують синхронізацію від зовнішніх джерел (PRC). Ці вузли називаються майстер-вузлами. Джерело PRC, розташоване на основній станції, є зовнішнім PRC, від якого отримують синхронізацію два майстер-вузли W і X кіл W і X. Кола Y і Z мають загальний майстер-вузол C і D, який отримує сигнал синхронізації від останнього вузла кола X. Суть запропонованого рішення полягає в організації альтернативного шляху передачі сигналу синхронізації в кожному колі. Проблеми можуть виникнути тільки при низькій надійності зв'язку, що забезпечує синхронізацію майстер-вузла C і D. У цьому сенсі для цього майстер-вузла логічно використовувати локальний первинний еталон LPR.

Таким чином досягається відсутність замкнутих шляхів.

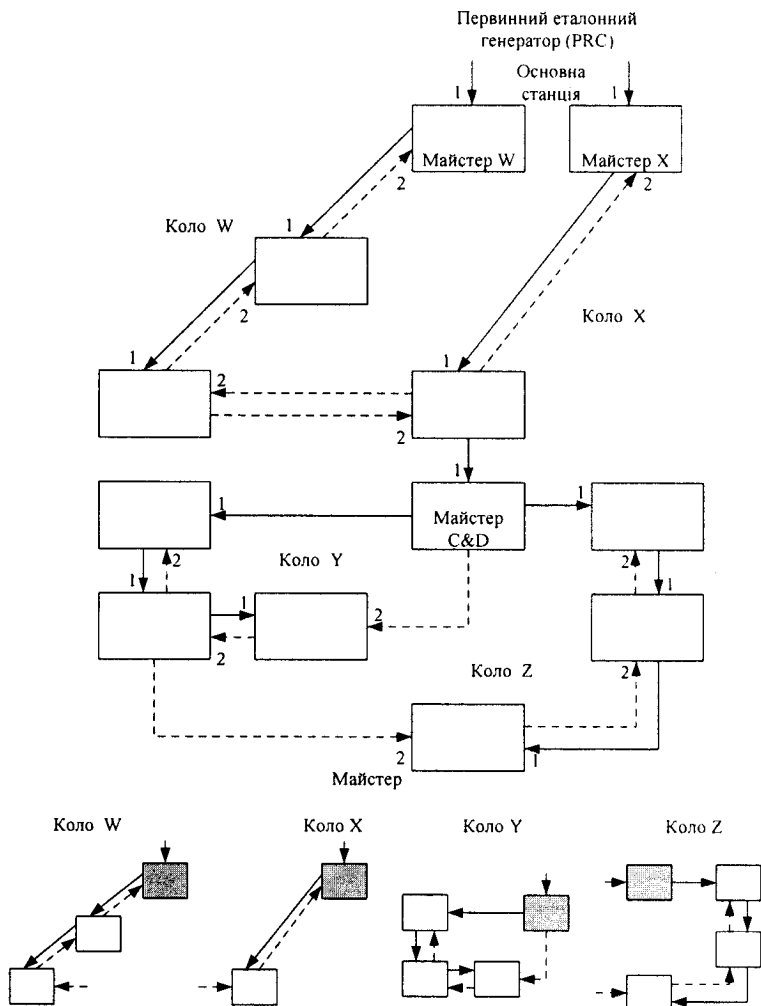


Рисунок 6.3 – Синхронізація в комірчастій мережі

Контрольні запитання до розділу 6

1. Пояснити необхідність синхронізації цифрових мереж.
2. Навести основні методи синхронізації мереж та їх недоліки.
3. Пояснити поняття: «статус синхронізації».
4. Навести схему синхронізації кільцевих структур.
5. Навести схему синхронізації гратчастих структур.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Бакланов И. Г. SDH-NGSDH: практический взгляд на развитие транспортных сетей./ Бакланов И.Г. – М. : Метротек, 2006. – 736 с.
2. ГОСТ 22348-86. Система связи автоматизированная единая. Термины и определения.
3. Калашников Н. И. Системы связи и радиорелейные линии. Учебник для электротехн. ин-тов связи. Под ред. Н. И. Калашникова. – М. : «Связь», 1977. – 389 с.
4. Корнейчук Ж. И. Оптические системы передачи./ Корнейчук Ж. И., Макаров Т. В. , Панфилов И. П. – Київ : «Техніка», 1994. – 352 с.
5. Слепов Н. Н. Синхронные цифровые сети SDH – 4 – е изд. / Слепов Н. Н – М. : Эко-Трендз, 1999. – 148 с.
6. Фокин В. Г. Оптические системы передачи и транспортные сети./ Фокин В. Г. – М. : Эко-Трендз, 2008. – 288 с.
7. Фокин В. Г. Синхронная цифровая иерархия SDH. Учебное пособие. Часть 1. Схема мультиплексирования SDH./ Фокин В. Г. – Новосибирск: СибГУТИ, 2006. – 84 с.
8. Шмалько А. В. Цифровые сети связи. Основы планирования и построения./ Шмалько А. В. – М. : Эко-Трендз, 2001. – 283 с.
9. ANSI T1.102 – Digital Hierarchy - Electrical Interfaces.
10. ANSI T1.105 – Digital Hierarchy - Optical Interface Rates and Formats Specification (1988).
11. ANSI T1.106 – Digital Hierarchy - Optical Interface Specifications (Single Mode) (1988).
12. ANSI T1X9.4 – (SONET Standard).
13. ANSI T1.101 – Synchronization Interface Standards for Digital Networks.
14. Bob Chomycz, Fiber Optic Installer's Field Manual, McGraw-Hill, New York, 2000.
15. CCITT Recommendation E.163. Numbering Plan for the International Telephone Service (1988).
16. CCITT Recommendation G.771. Q-Interfaces and Associated Protocols for Transmission Equipment in the Telecommunications Management Network (TMN) (1988).
17. CCITT Recommendation G.810. Considerations on Timing and Synchronization Issues (1988).

18. CCITT Recommendation G.811. Timing Requirements at the Outputs of Primary Reference Clocks Suitable for Plesiochronous Operation of International Digital Links (1988).

19. CCITT Recommendation G.812. Timing Requirements at the Outputs of Slave Clocks Suitable for Plesiochronous Operation of International Digital Links (1988).

20. CCITT Recommendation X.217. Association Control Service Definition for Open System interconnection for CCITT Applications (1988).

21. CCITT Recommendation X.219. Remote Operations: Model, Notation and Service Definition (1988).

22. CCITT Recommendation X.227. Association Control Protocol Specification for Open System Interconnection for CCITT Applications (1988).

23. CCITT Recommendation X.229. Remote Operations: Protocol Specification (1988).

24. Donald J. Sterling, Jr., A Technician's Guide to Fiber Optics, 3rd ed., Delmar Publishers, Albany, NY, 2000.

25. G. Mahike and P. Goessing, Fiber Optic Cables, 3rd ed., Siemens Berlin-Munich, John Wiley & Sons, New York, 1997.

26. Govind P. Agrawal, Fiber-Optic Communication Systems, 2nd ed., John Wiley & Sons, New York, 1997.

27. ISO 10589. Telecommunications and Information Exchange between Systems - Intermediate System to Intermediate System Intra-Domain Routing Information Exchange Protocol (1991).

28. ISO 2110. Data Communications - 25-pin DTE/DCE Interface Connector and Pin Assignments (1989).

29. ISO 2593. Data Communications - 34-pin DTE/DCE Interface Connector and Pin Assignments (1984).

30. ISO 3309. Information Processing Systems - Data Communication - High-Level Data Link Control Procedures - Frame Structure (1988).

31. ISO 4335. Information Processing Systems - Data Communication - High-Level Data Link Control Procedures - Consolidation of Elements of Procedures (1987).

32. ISO 7498.

33. ISO 7809. Data Communications - High-Level Data Link Control Procedures - Consolidation of Classes of Procedures (1984).

34. ISO 8073/AD2. Information Processing Systems - Open Systems Interconnection - Connection Oriented Transport Protocol Specification - Addendum 2: Class 4 Operation over Connectionless Network Service (1989).

35. ISO 8208. Data Communications - X.25 Packet Level Protocol for Data Terminal Equipment (1987).
36. ISO 8348/AD2.
37. ISO 8473. Information Processing Systems - Data Communications - Protocol for Providing the Connectionless-mode Network Service (1988).
38. ISO 8473/AD3. Information Processing Systems - Data Communication - Protocol for Providing the Connectionless-mode Network Service Addendum 3: Provision of the Underlying Service Assumed by ISO 8473 over Point-to-Point Subnetworks which provide the OSI Data Link Service (1989).
39. ISO 8482. Data Communications - Twisted Pair Multipoint Interconnection (1988).
40. ISO 8648. Data Communications - Internal Organization of the Network Layer (1988).
41. ISO 8802-2. Information Processing Systems - Local Area Network - Part 2; Logical Link Control (1988).
42. ISO 8802-2/DAD2. Logical Link Control; Addendum 2: Acknowledged Connectionless-mode Service and Protocol, Type 3 Operation (1988).
43. ISO 8802-3. Information Processing Systems - Local Area Network - Part 3: Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD). Access Method and Physical Layer Specifications (1990).
44. ISO 9542. Telecommunications and Information Exchange between Systems - End System to Intermediate System Routing Exchange Protocol for Use in Conjunction with the Protocol for Providing the Connectionless-Mode Network Service (1988).
45. ISO 9595 - Information Processing Systems - Open Systems Interconnection - Common Management Information Service Definition (CMIS) (1992).
46. ISO 9596. Information Processing Systems - Open Systems Interconnection - Common Management Information Protocol Specification (CMIP) (1992).
47. ISO DTR 10172.
48. ITU-T Recommendation G.100. Definitions Used in Recommendations on General Characteristics of International Telephone Connections and Circuits (1993).
49. ITU-T Recommendation G.650. Definition and Test Methods for the Relevant Parameters of Single-Mode Fibres (3.93).
50. ITU-T Recommendation G.652. Characteristics of a Single-Mode Optical Fibre Cable (3.93).
51. ITU-T Recommendation G.653. Characteristics of a Dispersion-shifted Single-Mode Optical Fibre Cable (3.93).

52. ITU-T Recommendation G.654. Characteristics of a 1550 nm Wavelength Loss-minimized Single-Mode Optical Fibre Cable (3.93).
53. ITU-T Recommendation G.655. Characteristics of a Non-Zero Dispersion Single-Mode Optical Fibre Cable (10.96).
54. ITU-T Recommendation G.661. Definition and Test Methods for the Relevant Generic Parameters of Optical Fibre Amplifiers (11.96).
55. ITU-T Recommendation G.662. Generic Characteristics of Optical Fibre Amplifier Devices and Sub-systems (7.95).
56. ITU-T Recommendation G.663. Application Related Aspects of Optical Fibre Amplifier Devices and Sub-systems (10.96).
57. ITU-T Recommendation G.681. Functional Characteristics of Interoffice and Long-haul Line Systems Using Optical Amplifiers, Including Optical Multiplexers (10.96).
58. ITU-T Recommendation G.701. Vocabulary of Digital Transmission and Multiplexing, and Pulse Code Modulation (PCM) Terms (1988, 93).
59. ITU-T Recommendation G.702. Digital Hierarchy Bit Rates (1984, 88).
60. ITU-T Recommendation G.703. Physical/Electrical Characteristics of Hierarchical Digital Interfaces. (1972 last amended in 1991).
61. ITU-T Recommendation G.704. Synchronous Frame Structures Used at Primary and Secondary Hierarchical Levels (1984, 88, 90).
62. ITU-T Recommendation G.707. Network Node Interface for the Synchronous Digital Hierarchy (SDH) (3.96), Replaces G.707, G.708, G.709.
63. ITU-T Recommendation G.707. Synchronous Digital Hierarchy Bit Rates (1988, 91, 93).
64. ITU-T Recommendation G.708. Network Node Interface for the Synchronous Digital Hierarchy (1988, 91, 93).
65. ITU-T Recommendation G.709. Synchronous Multiplexing Structure (1988, 91, 93).
66. ITU-T Recommendation G.711. Pulse Code Modulation (PCM) of Voice Frequencies (1972, last amended in 1993).
67. ITU-T Recommendation G.732. Characteristics of Primary PCM Multiplex Equipment Operating at 2048 kbps (1972, last amended in 1993).
68. ITU-T Recommendation G.733. Characteristics of Primary PCM Multiplex Equipment Operating at 1544 kbps (1972, last amended in 1993).
69. ITU-T Recommendation G.773. Protocol Suites for Q-Interfaces for Management of Transmission Systems (1990, 93).
70. ITU-T Recommendation G.774. Synchronous Digital Hierarchy (SDH) Management Information Model for the Network Element View (1992, 11.96).

71. ITU-T Recommendation G.774.1. Synchronous Digital Hierarchy (SDH) Performance Monitoring for the Network Element View (11.96).

72. ITU-T Recommendation G.774.2 Synchronous Digital Hierarchy (SDH) Configuration of the Payload Structure for the Network Element View (11.96),

73. ITU-T Recommendation G.774.3. Synchronous Digital Hierarchy (SDH) Management of Multiplex-section Protection for the Network Element View (11.96).

74. ITU-T Recommendation G.774.4. Synchronous Digital Hierarchy (SDH) Management of the Subnetwork Connection Protection for the Network Element View (11.96).

75. ITU-T Recommendation G.774.5. Synchronous Digital Hierarchy (SDH) Management of Connection Supervision Functionality (HCS/LCS) for the Network Element View (11.96).

76. ITU-T Recommendation G.774.7. Synchronous Digital Hierarchy (SDH) - G.774 Implementer's Guide (11.96).

77. ITU-T Recommendation G.780. Vocabulary of Terms for Synchronous Digital Hierarchy (SDH) Networks and Equipment (11.94).

78. ITU-T Recommendation G.781. Structure of Recommendations on Equipment for the Synchronous Digital Hierarchy (SDH) (1990, Revised 1.94).

79. ITU-T Recommendation G.782. Types and General Characteristics of Synchronous Digital Hierarchy (SDH) Equipment (1990, Revised 1.94).

80. ITU-T Recommendation G.783. Characteristics of Synchronous Digital Hierarchy (SDH) Multiplexing Equipment. Functional Blocks (1990, Revised 1.94).

81. ITU-T Recommendation G.784. Synchronous Digital Hierarchy (SDH) Management (Requirements of Multiplexer Equipment) (1990, Revised 1.94).

82. ITU-T Recommendation G.785. Characteristics of a Flexible Multiplexer in a Synchronous Digital Environment (11.96).

83. ITU-T Recommendation G.803. Architectures of the Transport Networks Based on the Synchronous Digital Hierarchy (SDH) (3.93)

84. ITU-T Recommendation G.804. ATM Cell Mapping into Plesiochronous Digital Hierarchy (PDH) (11.93).

85. ITU-T Recommendation G.813. Timing Characteristics of SDH Equipment Slave Clocks (SEC) (8.96).

86. ITU-T Recommendation G.825. The Control of Jitter and Wander within Digital Networks which are based on the Synchronous Digital Hierarchy (SDH) (3.93).

87. ITU-T Recommendation G.826. Errors Performance Parameters and Objectives for International, Constant Bit Rate Digital Paths at or Above the Primary Rate (1993).

88. ITU-T Recommendation G.831. Management Capabilities of Transport Networks Based on the Synchronous Digital Hierarchy (SDH) (1993, 8.96).

89. ITU-T Recommendation G.832. Transport of SDH Elements on PDH Networks: Frame and Multiplexing Structures (1993, 11.95).

90. ITU-T Recommendation G.841. Types and Characteristics of SDH Network Protection Architectures (7.95).

91. ITU-T Recommendation G.861. Principles and Guidelines for the Integration of Satellite and Radio Systems in SDH Transport Networks (8.96).

92. ITU-T Recommendation G.957. Optical Interfaces for Equipments and Systems Relating to the Synchronous Digital Hierarchy (SDH) (Revised 7.95).

93. ITU-T Recommendation G.958. Digital Line Systems based on the Synchronous Digital Hierarchy (SDH) for Use on Optical Fibre Cables (Revised 11.94).

94. ITU-T Recommendation M.20. Maintenance Philosophy for Telecommunications Networks (1992).

95. ITU-T Recommendation M.2100. Performance Limits for Bringing-into-Service and Maintenance of International PDH Paths, Sections and Transmission Systems (1995).

96. ITU-T Recommendation M.2120. Digital Path, Section and Transmission System Fault Detection and Localization Procedures (1992).

97. ITU-T Recommendation M.3010. Principles for a Telecommunications Management Network (1992).

98. ITU-T Recommendation M.3020. TMN Interface Specification Methodology (1995).

99. ITU-T Recommendation M.3100. Generic Network Information Model (1995).

100. ITU-T Recommendation M.3101. Managed Object Conformance Statements for the Generic Network Information Model (1995).

101. ITU-T Recommendation M.3180. Catalogue of TMN Management Information (1992).

102. ITU-T Recommendation M.3200. TMN Management Services: Overview (1992).

103. ITU-T Recommendation M.3300. TMN Management Facilities Presented at the F Interface (1992).

104. ITU-T Recommendation M.3400. TMN Management Functions (1992).

105. ITU-T Recommendation Q.811. Low Layer Protocol Profiles for the Q3 Interface (1993).
106. ITU-T Recommendation Q.812. Upper Layer Protocol Profiles for the Q3 Interface (1993).
107. ITU-T Recommendation Q.921. ISDN User-Network Interface - Data Link Layer Specification (1993).
108. ITU-T Recommendation Q.922. ISDN Data Link Layer Specification for Frame Mode Bearer Services (1992).
109. ITU-T Recommendation X.214. Information technology - Open Systems Interconnection - Transport Service Definition (1993).
110. ITU-T Recommendation X.215. Information technology - Open Systems Interconnection - Session Service Definition (1994).
111. ITU-T Recommendation X.216. Information technology - Open Systems Interconnection - Presentation Service Definition (1994).
112. ITU-T Recommendation X.224. Protocol for Providing the OSI Connection-mode Transport Service (1993).
113. ITU-T Recommendation X.225. Information technology - Open Systems Interconnection - Connection-oriented Session Protocol: Protocol Specification (1994).
114. ITU-T Recommendation X.226. Information technology - Open Systems Interconnection - Connection-oriented Presentation Protocol: Protocol Specification (1994).
115. ITU-T Recommendation X.701. System Management Overview (1992, 95).
116. ITU-T Recommendation X.710. Common Management Information Service Definitions (1991).
117. ITU-T Recommendation X.711. Common Management Information Protocol Specification (1991).
118. ITU-T Recommendation B. 13. Terms and Definitions. Appendix 11 (1988, 93).
119. ITU-T Recommendation E.164. Numbering Plan for the ISDN Era (1991).
120. Jeremy Lawrence, Cisco Systems, Designing Multiprotocol Label Switching Networks, IEEE Communications Magazine, July 2001.
121. Paul E. Green, Fiber Optic Networks, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1993.
122. Paul Green, Progress in Optical Networking, IEEE Communications Magazine, January 2001.

123. R. J. McIntyre, Multiplication Noise in Uniform Avalanche Photodiodes, IEEE Transactions on Electron Devices, ED-13, pages 164-168, 1966.
124. Roger L. Freeman, Reference Manual for Telecommunication Engineers, John Wiley & Sons, New York, 2002.
125. Roger L. Freeman, Telecommunication Transmission Handbook, 4th ed., John Wiley & Sons, New York, 1998.
126. S. Shimada and H. Ishio, eds., Optical Amplifiers and Their applications, John Wiley & Sons, Chichester, England, 1992.
127. Stamatios V. Kartalopoulos, Introduction to DWDM Technology, IEEE Press, New York, 1999.
128. TA-NWT-000253 - Synchronous Optical Network (SONET) Transport Systems; Common Generic Criteria, Issue 6 (1990, 91).
129. TR-TSY-000253 - Synchronous Optical Network (SONET) Transport Systems: Common Generic Criteria, Issue 1 (9.89. A module of TSGR, FR-NWT-000440), Issue 6 (9.90, plus Bulletin No.1, 8.91).
130. TR-TSY-000496 - SONET Add-Drop Multiplex Equipment (SONET/ADM) Generic Criteria, Issue 2 (9.89).
131. TR-TSY-000499 - Transport Systems Generic Requirements (TSGR): Common Requirements, Issue 3 (12.89. A module of TSGR, FR-NWT-000440).
132. Walter Ciciora, James Farmer, and David Large, Modem Cable Television Technology, Morgan Kaufmann Publishers, San Francisco, CA 1999.

Навчальне видання

**Дрючин Олександр Олексійович
Кичак Василь Мартинович
Мінов Михайло Леонідович**

**ОПТИЧНІ ТРАНСПОРТНІ МЕРЕЖІ
СИНХРОННА ЦИФРОВА ІЄРАРХІЯ**

Навчальний посібник

Редактор В. Дружиніна
Коректор З. Поліщук
Оригінал-макет підготовлено О. Дрючиним

Підписано до друку 26.06.2017 р.
Формат 29,7×42 ¼. Папір офсетний.
Гарнітура Times New Roman.
Ум. друк. арк. 5,41.
Наклад 50 (1-й запуск 1-20) пр. Зам. № 2017-243.

Видавець та виготовлювач
Вінницький національний технічний університет,
інформаційний редакційно-видавничий центр.
ВНТУ, ГНК, к. 114.
Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, 21021.
Тел. (0432) 59-85-32, 59-87-38.
press.vntu.edu.ua; e-mail: kivc.vntu@gmail.com
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р