

СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

Навчально-науковий інститут (факультет) інформаційних технологій та електроніки

Кафедра інформаційних технологій та програмування

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної випускної роботи

освітній ступінь бакалавр

спеціальність „172 Телекомунікації та радіотехніка”
(шифр і назва спеціальності)

на тему „Система передачі даних SDH по оптоволоконному кабелю”

Виконав: студент групи РЕА-21бд

(підпис)

О.І. Муратов

(ініціали і прізвище)

Керівник

(підпис)

І.С. Тюндер

(ініціали і прізвище)

Завідувач кафедри

(підпис)

О.І. Захожай

(ініціали і прізвище)

Рецензент _____

В.Л. Зінченко

СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

Навчально-науковий інститут (факультет) інформаційних технологій та електроніки
Кафедра інформаційних технологій та програмування
Освітній ступінь бакалавр
спеціальність 172 „Телекомунікації та радіотехніка”
(шифр і назва спеціальності)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

“___” _____ Захожай О.І.
2025 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ ВИПУСКНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ
Муратову Олександрю Ігоровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Система передачі даних SDH по оптоволоконному кабелю

керівник роботи Тюндер Ірина Сергіївна, старший викладач

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджений наказом університету від “27” травня 2025 року
№67/15.15-С

2. Строк подання студентом роботи 16.06.2025р.

3. Вихідні дані до роботи: Об'єктом даної роботи є система передачі даних SDH по оптоволоконному кабелю

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Вступ. Аналітичний огляд, з висвітленням наступних питань: Транспортна мережа як складова телекомунікаційної мережі. Транспортні мережі, побудовані за технологіями SDH та NG SDH. Історія виникнення, принципи побудови, метод та елементи мультиплексування, топологія. Основна частина, в якій висвітлити інформаційну та функціональну модель Транспортної мережі SDH та SDH NG, розглянемо принципи ієрархії та топології за якою будуються сучасні телекомунікаційні мережі, Висновки. Перелік використаних джерел.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслеників) Слайди презентації

6. Консультанти розділів роботи

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

5. Дата видачі завдання 30.03.2025р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання кваліфікаційної випускної роботи	Строк виконання етапів	Примітка
1	Одержання завдання на виконання роботи	30.03.25	виконано
2	Укладання і погодження з керівником плану і етапів виконання роботи	06.04.25	виконано
3	Узагальнення даних літературних джерел, укладання розділу «Аналіз предметної галузі»	13.04.25	виконано
4	Аналіз шляхів виконання завдання. Вибір і погодження з керівником оптимального шляху	20.04.25	виконано
5	Побудова транспортної мережі синхронної ієрархії SDH	27.04.25	виконано
6	Укладання, оформлення та погодження пояснювальної записки з керівником	04.05.25	виконано
7	Здача готової пояснювальної записки на кафедру	08.06.25	виконано
8	Укладання доповіді і презентації	10.06.25	виконано

Студент _____ О.І. Муратов
підпис (ініціали і прізвище)

Керівник роботи _____ І.С. Тюндер
підпис (ініціали і прізвище)

РЕФЕРАТ

Дипломну роботу виконано на 57 аркушах, вона містить перелік посилань на використані джерела з 17 найменувань. У роботі наведено 30 рисунки та 12 таблиць.

Метою даної дипломної роботи є виконання порівняльного аналізу технологій, що використовуються в сучасних транспортних мережах.

У дипломній роботі розглянуто основні технології побудови транспортних мереж. Розглянуто основні ідеї, властивості, відмінності, топології транспортних мереж побудованих за технологіями Оптичне передавальне обладнання SDH може реалізовувати безліч функцій, таких як ефективне управління мережею, моніторинг бізнесу в режимі реального часу, динамічне обслуговування мережі, взаємодія між різними виробниками' обладнання тощо, це може значно покращити коефіцієнт використання мережевих ресурсів, зменшити витрати на управління та обслуговування, а також реалізувати гнучку, надійну та ефективну роботу та обслуговування мережі. Отже, оптичне передавальне обладнання SDH є гарячою точкою у розробці та застосуванні технологій передачі у світовому інформаційному полі. Для людей' приділяється велика увага. Мережа передачі в основному поділяється на три рівні: рівень доступу, рівень конвергенції та рівень магістралі

ТРАНСПОРТНІ МЕРЕЖІ, ТЕХНОЛОГІЇ, ТОПОЛОГІЯ, ЕЛЕМЕНТИ АРХІТЕКТУРИ,
ЕЛЕМЕНТИ МЕРЕЖ, SDH T ASDH NG GFP LCAS

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ	6
ВСТУП.....	9
1 ТРАНСПОРТНА МЕРЕЖА ЯК СКЛАДОВА ЧАСТИНА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ.....	10
1.1 Структура фрейма первинного рівня E1	11
1.2 E1 відповідний первинному рівню ієрархії PDH	12
1.3 Комбіновані системи передачі даних PDH SDH	15
2 ТРАНСПОРТНІ МЕРЕЖІ, ПОБУДОВАНІ ЗА ТЕХНОЛОГІЯМИ SDH ТА NG SDH	16
2.1 Транспортні мережі за технологією SDH.....	16
2.1.1 Розвиток та виникнення транспортних мереж за технологією SDH	16
2.1.2 Принцип мультиплексування в SDH	23
2.1.3 Топологія та архітектура транспортних мереж SDH	24
2.2 Мережі NG SDH.....	26
2.2.1 Особливості технології NG SDH.....	26
2.2.2 Створення каналів передачі даних з адаптованою перепускною здатністю.....	30
2.2.2.1 Універсальний фрейм GFP	31
2.2.2.2 Віртуальна конкатенація віртуальних контейнерів.....	33
2.2.2.3 Протокол LCAS.....	34
2.3 Висновки до розділу 2	36
3 ТРАНСПОРТНІ МЕРЕЖІ, ПОБУДОВА ТРАНСПОРТНОЇ МЕРЕЖІ СИНХРОННОЇ ІЄРАРХІЇ SDH	37
3.1 Резервування мультиплексної секції MSP	37
3.2 Складання мультиплексного плану ієрархії ЦСП ЦСІ.....	43
3.3 Вибір марки оптичного кабелю	45
3.4 Технічні параметри апаратури СЦІ компанії ERICSSON	47
Висновки до розділу 3.....	51
ВИСНОВКИ	52
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	53

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

ATM	Asynchronous Transfer Mode, Асинхронний режим передачі
ATMARP	Asynchronous Transfer Mode Address Resolution Protocol
AUG	Група адміністративних блоків
AU-n	Адміністративний блок
BGP	External Gateway Protocol, Протокол зовнішніх шлюзів
BIP8	Bit Interleaved Parity, Парність з чергуванням по бітам
cHEC	Core Header Error Control,
DAPI	Destination Access Point Identifier, Ідентифікатор призначення точки доступу
DLCI	Data Link Connection Identifier, Ідентифікатор з'єднання передачі даних
ECMP	Equal Cost Multi-Path
ETSI	Європейський інститут стандартів електрозв'язку
FEC	Forwarding Equivalency Class, Клас еквівалентності пересилання
GFP	Загальна процедура інкапсуляції даних
GMPLS	Generalized MPLS, Узагальнений MPLS
GSMP	Generic Switch Management Protocol, Загальний протокол керування комутаторами
IFMP	Ipsilon Flow Management Protocol, Протокол управління потоком
ITU	Telecommunication Standardization Sector,
LCAS	Схема динамічного зміни пропускної здатності лінії
LDP	Label Distribution Protocol, Протокол розповсюдження мітки
LER	Label Edge Router, Маршрутизатор краю мітки

LIS	Logical IP Subnetwork, Логічна підмережа IP
LLC	Logical Link Control, Керування логічним посиленням
LSP	Label Switched Path, Шлях із комутацією мітки
LSR	Label Switched Router, Маршрутизатор із комутацією міто
MPLS	мульти протокольна комутація за мітками
MPLS TP	MPLS Transport Profile
MS	Мультиплексорна секція
NG SDH	Next Generation SDH, SDH наступного покоління
NGN	Next Generation Networks, Мережі наступного покоління
NHRP	Next Hop Resolution Protocol
NTP	Network Time Protocol, Протокол мережевого часу
OC-N	Optical Carrier level N, Оптичний носій
ODU	Optical Channel Data Unit, Блок даних оптичного каналу
OPU	Optical Channel Payload Unit, Блок корисного навантаження оптичного каналу
PDH	Plesiochronous Digital Hierarchy, Плезіохронна цифрова ієрархія
PLI	Payload Length Indicator, Індикатор довжини корисного навантаження
PM	Pass Monitoring, Моніторингу шляху
PPP	Point-to-Point Protocol, Протокол точка-точка
PSI	Payload Structure Identifier, Ідентифікатор структури корисного навантаження
PTI	Payload Type Identifier, Ідентифікатор типу корисного навантаження
QoS	Quality of service, Якість обслуговування
Resv	Reservation request, Запит на резервування
RIP	Routing Information Protocol, Протокол маршрутизації інформації
RS	Регенераційна секція

SDH	Synchronous Digital Hierarchy, Синхронна цифрова ієрархія
SOH	секційний заголовок
STM-N	Synchronous Transport Module level N, Синхронний транспортний модуль
STP	Spanning Tree Protocol
STS-N	Synchronous Transport Signal level N, Синхронний транспортний сигнал
TC	Frame Relay
TCM	Tandem Connection Monitoring, Моніторинг тандемних з'єднань
TTI	Trail Trace Identifier
TUG-n	Група транспортних блоків
TU-n	Транспортний блок
VC	Віртуальний контейнер
VCAT	Віртуальна конкатенація
VCG	Virtual Concatenation Group, Група віртуальних з'єднань
TM	термінальний мультиплексор

ВСТУП

У телекомунікації послідовне передавання даних надсилає і приймає елементи, які є символами чи іншими об'єктами даних.

Цифрове послідовне передавання — це послідовне відправлення бітів одним дротом, частотою чи оптичним шляхом. Через те, що це вимагає меншої обробки сигналу, і менша ймовірність помилки, ніж при паралельному пересиланні, то швидкість передавання даних по кожному окремому шляху може бути більша. Цей механізм може використовуватися на більш далеких відстанях, бо може легко передаватися контрольна цифра або біт парності.

Паралельним передаванням в телекомунікаціях називається одночасна пересилання елементів сигналу одного символу або іншого об'єкта даних. У цифровому зв'язку паралельним передаванням називається одночасне пересилання відповідних елементів сигналу по двох або більшій кількості шляхів. Використовуючи безліч електричних дротів, можна передавати кілька біт одночасно, що дозволяє досягти більш високих швидкостей пересилання, ніж при послідовному передаванні. Цей метод застосовується всередині комп'ютера, наприклад, у внутрішніх шинах даних, а іноді і в зовнішніх пристроях, таких, як принтери. Основною проблемою при цьому є «перекіс», тому що дроти при паралельному передаванні мають трохи різні властивості (не спеціально), тому деякі біти можуть прибути раніше за інші, і це може пошкодити повідомлення. Біт парності сприяє скороченню помилок. Проте електричний дріт при паралельному передаванні даних менш надійний на великих відстанях, оскільки імовірність порушення сигналу набагато вища.

1 ТРАНСПОРТНА МЕРЕЖА ЯК СКЛАДОВА ЧАСТИНА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ

«Телекомунікаційні мережі постійно розвиваються, що відповідає за невпинно зростаючий попит на різноманітніші послуги зв'язку та новими технічними рішеннями. Головною складовою будь-якої телекомунікаційної системи завжди була транспортна мережа. Транспортна мережа (Transport Network) – це елемент телекомунікаційної мережі з високим ступенем концентрації трафіку, за допомогою якого здійснюється інформаційний обмін від користувача однієї мережі доступу до користувача іншої мережі доступу, і в якому транспортне середовище для передачі будь-якого типу інформації забезпечується використанням єдиних технологічних принципів і встановлених стандартів з надання ширини смуги пропускання.

Під мінімальною затримкою сигналу слід розуміють мінімальних час необхідний для того щоб інформаційних біт переданий на вхідний порт елемента мережі, прийшов на вихідний порт того самого елемента мережі без дефектів. При невпинному зростанні швидкостей передачі обсяг значно збільшився обсяг переданої інформації, але попри це, часова затримка передачі інформації не зменшилась пропорційно. Це створює проблеми передачі корисної інформації такої як відео чи аудіо трафік.

Достовірність передачі характеризується ймовірністю спотворення бітів даних. У сучасних мережа інтенсивність бітових помилок повинна приймати значення від 10^{-11} до 10^{-12} , тобто у середньому на десять терабіт інформації припадає спотворення один біт. Для підвищення стійкості мережі слід підвищувати ступіть завадостійкості мережі.

Забезпечення надійності мереж засноване на виявленні відмови і резервуванні. Притому в мережах з новими технологіями відновлення повинне виконуватися за час, що не перевищує 50 мс.

Транспортні мережі за час свого існування пройшли через декілька етапів свого розвитку. Його загальний вигляд зображено на рис.1.3

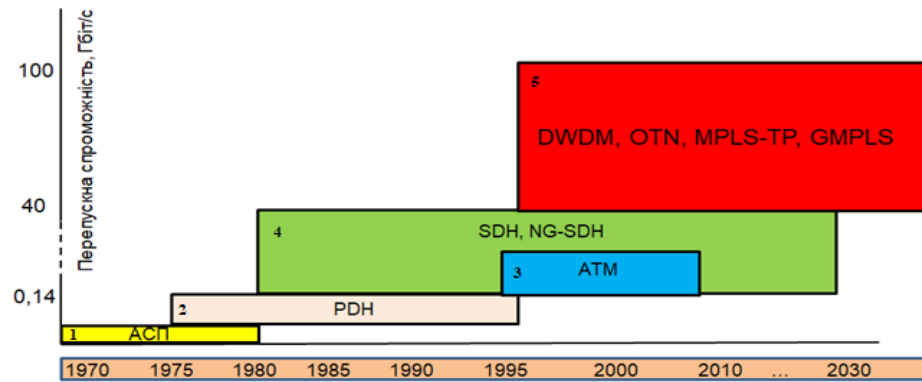


Рисунок.1.2 – Еволюція транспортних мереж

1. На другому етапі мережі почали будувати на основі ієрархії цифрових плезіохронних систем. PDH – цифровий метод передачі даних, заснований на часовому розподілі каналу, і технології представлення сигналу за допомогою імпульсно-кодової модуляції. Для PDH характерне поетапне чередування бітів.
2. ATM - (Asynchronous Transfer Mode) – мережева технологія комутації і мультимплексування пакетів. Передача здійснюється короткими пакетами по 53 байти мультисервісного трафіку) - у наш час не використовується, так як верх взяли технології, засновані на стеку протоколів TCP/IP.
3. SDH (Synchronous Digital Hierarchy, SONET) – транспортна технологія, яка передбачає передачу цифрових потоків ієрархії PDH (2, 34, 140 Мбіт/с) SDH, використовується для створення мереж різної топології зі різними швидкостями передачі даних від 155 Мбіт/с до 10 Гбіт/с.

NG SDH (Next Generation SDH) - подальший розвиток SDH, де є на додаток передача пакетного трафіку, через Ethernet.» [1]

1.1 Структура фрейма первинного рівня E1

«E1 — стандарт цифрової передачі даних, що відповідає початковому рівню європейського стандарту PDH. Є результатом розвитку американського стандарту T1, на відміну від якого має 32 канали — 30 каналів для голосу або даних та 2 канали для сигналізації

(30B+D+N). Канали поділяється за часом. Кожен з 32 каналів має пропускну здатність 64 кбіт/с; таким чином, загальна пропускна здатність E1 — 2048 кбіт/с (2048000 біт/с).

Первинний потік складається з груп що повторюються кожна з них набирає структуру фрейму/кадр в СЕРТ це є потік E1 – 2048 кбіт/с.

Таблиця 1.1 – Параметри систем ІКМ

Параметри	СЕРТ
Частотний діапазон, Гц	300-3400
Частота дискретизації, Гц	8000
Квантування: кількість біт на вибірку	8
Кількість тайм-слотів на фрейм	32
Кількість інформаційних ІКМ каналів на фрейм	30
Ємність основного цифр. каналу (ОЦК), кбіт/с	64
Сигналізація по загальному каналу, кбіт/с	64
Ємність вихідного агрегатного каналу, кбіт/с	2048

1.2 E1 відповідний первинному рівню ієрархії PDH

груповий мультиплексований ІКМ-сигнал, який складається з цифрових 30-канальних потоків (2,048 Мбіт/с), котрі потребують синхронізації швидкостей цифрових потоків на вході обладнання групоутворювання.

Огляд та принцип роботи технології PDH

Базовою системою передачі для побудови вищих рівнів PDH є система передачі ІКМ-30 яка розповсюджена на території України .

В умовах існуючої інфраструктури PDH частенько представляється набагато розумнішим, з точки зору як прибутків, так і експлуатаційних витрат, протягом максимальний довгого часу надавати максимальну кількість послуг, продовжуючи використовувати

технологію, що зарекомендувала себе. Безумовно, будь-яка технологія, застаріває, але її заміна відбувається лише тоді, коли новіша технологія дозволяє надавати послуги з меншими витратами і такий же або меншою мірою ризику. Це означає, що PDH, як і багато інших зрілих технологій, ще довго застосовуватиметься в мережах зв'язку, співіснуючи з новішими технологіями, що упроваджуються в даний час.

Відповідно до прийнятих в Європі стандартів при побудові Цифрових Систем Передачі (ЦСП) об'єднуються 32 канали по 64 кбіт/с. З них 30 каналів призначено для передачі призначеної для користувача інформації, а два є службовими і використовуються для передачі сигналів синхронізації і управління. При цьому по черзі з кожного каналу передається по одному байту. Тривалість циклу становить 125 мкс, тобто в груповому сигналі протягом 1с. передаються по 8 000 байт з кожного каналу. Це дає цифровий потік, що має швидкість 8 біт/с. $8000 \times 32 = 2048000$ біт/с = 2 Мбіт/с (далі швидкості округляються). Прикладом ЦСП з такою швидкістю може служити поширена в нашій країні ІКМ-30.

Усі стандарти PDH систем наведено у таблиці. Відтак, відмінності між ними роблять вельми важкою їх взаємодію між собою.

Таблиця 1.2 – Швидкості ієрархії PDH

Рівень Цифрової ієрархії	Швидкість передачі, кбіт/с		
	Стандарт США	Стандарт Японія	Стандарт Європа
1	1544	1544	2048
2	6312	6312	8448
3	44736	32064	34368
4	274176	97728	139264
5	Не задіяно	397200	564992

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

Американська - T1, T2, T3.

Японська - TJ1, TJ2, TJ3, TJ4.

Європейська - E1, E2, E3

Європейська схема передачі даних надає потоки даних E1-E5 які в свою чергу надають певні швидкості передачі даних (Приблизно 2-8-34-140-545 Мбіт/с) в свою чергу це складає певні коефіцієнти мультиплексування які дозволяють передавати такі канали ІКМ (30 120 480 1920 і 7680).»[2]

«Комбіновані системи передачі даних SDH PDH

Цифрові мережі, що були розроблені та впроваджені до появи синхронних мережних технологій SONET/SDH, були по суті асинхронними системами, оскільки не використовували зовнішню синхронізацію від центрального опорного джерела. В них втрата бітів (або неможливість їх точної локалізації) призводили не тільки до втрати інформації, але й до порушення синхронізації. На приймальній стороні мережі було простіше викинути невірні отримані фрейми, чим відновлювати синхронізацію з повторною передачею втраченого фрагмента, як це робиться, наприклад, в локальних мережах. Це означає, що вказана інформація буде втрачена безповоротно.

В процесі впровадження технології SDH була вірогідна поява комбінованих мереж SDH/PDH. Технологія SDH впроваджується зазвичай, у вигляді "островів", об'єднаних каналами існуючої первинної мережі. Остаточна транспортна мережа SDH може відповідати варіанту,. Вона містить кільця магістральної мережі, побудованої на потоках STM-16, регіональних мереж, побудованих на потоках STM-4, і локальних мереж з потоками STM-1. Практика показує, що місцеві таймери можуть давати значне відхилення від точної швидкості передачі. Наприклад, для сигналів DS3 (44,736 Мбіт/с) таке відхилення від різних джерел може досягати 1789 біт/с. У синхронних мережах середня частота всіх місцевих таймерів або однакова (синхронна) або, близька до синхронної (плезіохронна) завдяки використанню центрального таймера (джерела) з точністю не гірше 10^{-9} (що дає для DS3 можливе відхилення швидкості порядку 0,045 біт/с). У цій ситуації необхідність вирівнювання фреймів або мультифреймів стоїть не так гостро, а діапазон вирівнювання значно вужчий. Більш того, ситуація з виділенням визначеного фрагмента потоку (наприклад, каналу DS1 або E1) спрощується, якщо ввести покажчики початку цього фрагмента в структурі інкапсулюючого його фрейму. Використання покажчиків дозволяє гнучко komponувати внутрішню структуру контейнера-носія. Збереження покажчиків у деякому буфері (заголовку або фреймі мультифрейму) і їхній додатковий захист кодами з корекцією помилок дозволяє одержати

винятково надійну систему локалізації внутрішньої структури переданого по мережі корисного навантаження (фрейму, мультифрейму або контейнеру)»[3]

2 ТРАНСПОРТНІ МЕРЕЖІ, ПОБУДОВАНІ ЗА ТЕХНОЛОГІЯМИ SDH ТА NG SDH

2.1 Транспортні мережі з використанням технології SDH

«Через нестабільність генеруючого тактового сигналу та різні швидкості передачі даних окремих груп потоків що в свою чергу змушу групувати ці потоки для вирівнювання швидкостей додають або забирають певні біти. Тому на виході мультиплексера формується синхронна імпульсна послідовність яка з кожним наступним рівнем E1 є в 4 рази більше за попередній рівень E1.

Подолати недоліки, залишаючись в рамках PDH, було неможливо. Тому, коли застосування волоконно-оптичних ліній зв'язку дозволило істотно підвищити швидкості передачі, а впровадження цифрових комутаційних станцій дало можливість створювати повністю цифрові синхронні мережі, почалася робота по переходу до SDH.

2.1.1 Розвиток та виникнення транспортних мереж за технологією SDH

Завдяки розвитку сучасних технологій ВОК стало можливим підвищення швидкостей передачі даних до десятків Гбіт/с а також зросла довжина регенераційної ділянки яка складає до 100 км. Недоліки використання сучасних асинхронних систем групоутворення цифрових потоків, які є характерними для плезіохронних систем передачі, для отримання високошвидкісних сигналів призводять до громіздких та малонадійних вирішень. В свою чергу, це ускладнює доступ до складових цифрових потоків з метою їх виділення та транзиту.

Тож ми можемо виділити те що при порушенні синхронізації групового сигналу досить багато часу витрачається на відновлення синхронізації які входять в певний груповий сигнал. Окрім того, з-за нестабільності джерел генеруючого устаткування систем передачі, виникають втрати отриманої інформації на етапах мультиплексування. Це все призвело до того що компанія Bell (США) розпочали працювати над створенням оптичної синхронної мережі (Optical network) де б системи передачі було б узгоджено за часом. В Європі в свою чергу було розроблено свій стардарт який отримав назву синхронна цифрова ієрархія- SDH

Базовий рівень було прийнято швидкість 155,82 Мбіт/с - так званий синхронний базовий модуль STM-1, що відповідало четвертому рівню Європейської PDH ієрархії (139,264 Мбіт/с). Мережу і ієрархію SDH (Європа) було розраховано на застосування якісного ВОК, як середовища передачі; тут менше значення затухання при більшій допустимій швидкості передачі. Отже, технологію синхронної цифрової ієрархії (Synchronous Digital Hierarchy, SDH) розроблено для створення надійних транспортних мереж, які дозволяють гнучко формувати цифрові канали з широким діапазоном швидкостей передачі - від одиниць мегабіт до десятків (сотень) гігабіт в секунду. Мережі SDH відносяться до класу мереж з комутацією каналів, які застосовують мультиплексування з розділенням за часом (TDM).

Основна область застосування технології SDH - первинні мережі операторів зв'язку. Інколи такі мережі будують на великих підприємствах та організаціях, які мають розгалужену структуру підрозділів та філій, що покривають велику територію, наприклад.

Канали SDH звичайно застосовують для об'єднання великої кількості периферійних (менш швидкісних) каналів, які працюють за технологією PDH, а також низькошвидкісних SDH. Приклад застосування каналів SDH для з'єднання між собою абонентського обладнання різного типу

Рівні швидкостей SDH наведено у табл 2.2.

Таблиця 2.2 – Рівні швидкостей SDH

SDH	Швидкість цифрового потоку, Мбіт/с
STM-1	155,52
STM-4	622,08
STM-16	2488,32
STM-64	9953,28
STM-256	39810,12

Рівні швидкостей: SDH: STM-1, STM-4, STM-16, STM-64, STM-256.

Початковим рівнем у SDH є STM-1 зі швидкістю обміну 155,52 Мбіт/с. Більш високі ієрархічні рівні мають швидкість передачі, кратну швидкості першого рівня. Швидкість передачі для різних рівнів ієрархії можна визначити за формулою

$$V_N = V \cdot N, \text{ де:}$$

V - швидкість передачі базового рівня STM-1 155,52 Мбіт/с;

N - рівень ієрархії ($N = 1, 4, 16, 64, 256$);

При розробці SDH були введені декілька нових термінів найбільш важливими з яких є: віртуальний контейнер, секція, тракт і маршрут.

Віртуальний контейнер (Virtual Container, VC) – Сигнал PDH поміщається в стандартний контейнер C потім до нього ще додається (Path Over Head, POH) так званий маршрутний заголовок таким чином формується віртуальний контейнер.

Регенераційна секція (Regenerator section, RS) – це частина середовища передачі між кінцевим обладнанням лінійного тракту і регенератором.

Мультиплексорна секція (Multiplex section, MS) - середовище передачі між двох суміжних обладнань і лінійними трактами, в одному з яких організовується STM сигнал, а в іншому закінчується.

Формування трактів та секцій у SDH наведено на рис.2.1

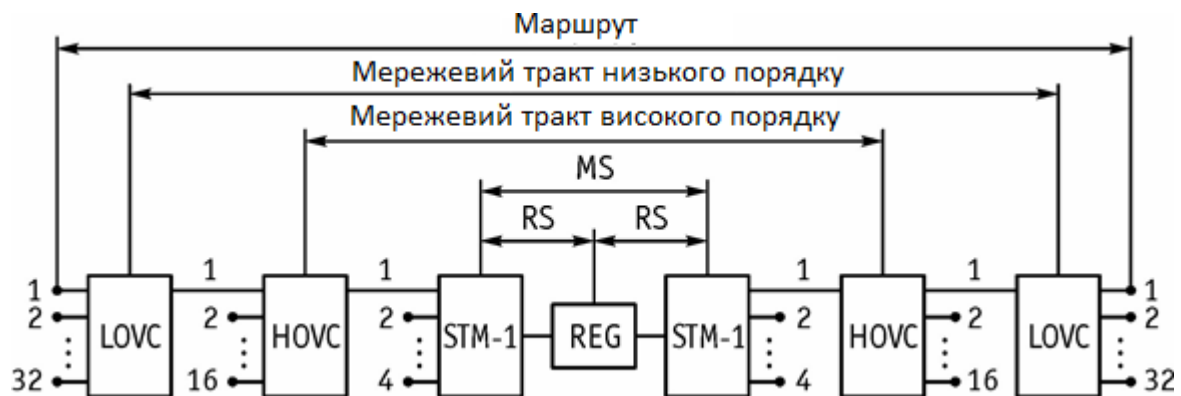


Рисунок 2.1 – Формування трактів та секцій у SDH

Для задоволення функціональних потреб у SDH була розроблена досить складна система мультиплексування. Рекомендації G.708 і G.709 передбачають використання наступних структурних елементів

1. C-n Контейнер

Контейнер являє собою інформаційну структуру, яка стандартизує ємності каналів передачі для існуючих PDH сигналів та інших можливих сигналів або кадрів Інформаційний блок, що за допомогою стафінга погоджує з модулем STM-1 певний обсяг трибутарного сигналу з точністю до одного або декількох бітів. Розрізняють кілька типів контейнерів:

- низького рівня (LO) - C - 11, C - 12, C - 2,
- високого рівня (HO) - C-3, C - 4.

Контейнери позначають літерою C після якої йде одна або дві цифри. Перша цифра ідентифікує ієрархічний рівень плезіохронного потоку, друга вказує на ієрархічність плезіохронного рівня, який серед двох стандартів (американського і європейського) має більш високу швидкість цифрового потоку. Їх наведено у табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Контейнери для передачі сигналів PDH

Рівень ієрархії	Контейнер	Сигнал PDH, Мбіт/с
1	C-11	1,544
	C-12	2,048
2	C-2	6,312
3	C-3	34,368 та 44,736
4	C-4	139,264

2. VC-n Віртуальний контейнер

Контейнер, до поля корисного навантаження (payload) якого додані байти Інформаційний блок, що складається з контейнера C і трактового заголовка РОН. РОН додається в пункті формування VC й усувається в пункті розформування VC. Розрізняють VC високого рівня (HO): VC-3, VC-4 й VC низького рівня (LO): VC-11, VC-12, VC-2.

Також ця службова інформація дозволяє здійснювати:

- перевірку безперервності зв'язку;
- оцінку ймовірності помилки;
- індикацію аварії;
- індикацію наявності обладнання.

Віртуальні контейнери позначаються як VC, після якої слідують одна або дві цифри, відповідні до контейнера C-n, який може бути внесений в відповідний VC-n. При цьому номер відображає швидкісний режим компонентних потоків. Саме VC-n передається по лінійним трактам і в залежності від виду тракту він може мати період повторення 125 мкс.

Віртуальні контейнери є одиницею комутації мультиплексерів SDH. В кожному мультиплексері існує таблиця з'єднань (її ще звать таблицею крос-з'єднань), в якій вказано, наприклад, що контейнер VC-12 порту P1 з'єднано з контейнером VC-12 порту P5, а контейнер VC-3 порту P8 з'єднано з контейнером VC-3 порту P9. Таблицю з'єднань формує адміністратор мережі за допомогою системи керування або керувального термінала в кожному мультиплексері так, щоб забезпечити наскрізний шлях для з'єднання кінцевих точок мережі, до яких під'єднано устаткування користувачів.

Також в залежності від об'єму цифрової інформації VC поділяють на віртуальні контейнери низького порядку (LOVC) та на віртуальні контейнери високого порядку (HOVC). Граничні швидкості сигналів, які передаються по VC-n наведені у табл. 2.4

Таблиця 2.4 – Граничні швидкості сигналів, які передаються по VC-n

VC-n	V, Мбіт/с
VC-11	1600
VC-12	2176
VC-2	6784
VC-3	48384
VC-4	149760

Віртуальні контейнери низького порядку формуються з контейнерів C-n і POH. А у віртуальних контейнерах високого порядку замість C-n може входити TUG-n (Група транспортних блоків).

3. TU-n - Транспортний блок

Транспортний блок Інформаційний блок, погоджений із циклом модуля STM-1, що складає з вказівника PTR і корисного навантаження, призначеного для завантаження віртуального контейнера свого рівня. Вказівник містить інформацію про положення віртуального контейнера відносно початку віртуального контейнера наступного більш високого рівня, у якому розміщується TU. Крім того, вказівник здійснює. Функцією транспортного блоку є підготовка до об'єднання однорідних VC контейнерів в групи.

4. TUG-n Група транспортних блоків

Група транспортних блоків це інформаційна то структура, створювана за допомогою об'єднання однорідних цифрових потоків, які перебувають в транспортних блоках (TU) Інформаційний блок, отриманий з одного трибутарного блоку й стафінга, або декількох трибутарних блоків шляхом їх побайтного мультиплексування й стафінга. Розрізняють наступні TUG: TUG-2, TUG-3.

TUG-2 складається з однорідної сукупності TU-11, TU-12 або TU-2

TUG-3 складається з однорідної сукупності TUG-2 або TU-3.

5. AU-n – Адміністративний блок

Адміністративний блок - Інформаційний блок, погоджений із циклом модуля STM-1, що складає з вказівника PTR і корисного навантаження, призначеного для завантаження віртуального контейнера VC-4. Вказівник містить інформацію про положення початку VC-4 відносно початку циклу модуля STM-1. Крім того, вказівник здійснює вирівнювання швидкості транзитного VC - 4 під швидкість що завантажує AU.

Визначено два види адміністративних блоків:

- AU-4, що складається з VC-4 і покажчика AU PTR;

- AU-3, що складається з VC-3 і показника AU PTR;

6. AUG – Група адміністративних блоків

Блок формується в тому випадку, коли утворюються адміністративні блоки AU-3 для передачі VC-3. У цьому випадку AU-3 об'єднується по байтах в одну групу адміністративних блоків AUG. При передачі VC-4 груповий адміністративний блок повністю відповідає AU-4. В результаті формується єдиний стандартний блок для подальшого перетворення в STM-N.

7. Синхронний транспортний модуль (STM - N)

Синхронний транспортний модуль це інформаційна структура, яка складається з корисної інформації, Основний елемент синхронної цифрової ієрархії, що складає з AUG і секційного заголовка SOH. Призначений для передачі по лініях і для утворення транспортних модулів більше високого порядку STM-N.

Особливості систем передачі SDH. Головними відмінними рисами систем передачі SDH є: формування інформаційних модулів вищих рівнів, у тому числі й синхронних транспортних модулів, за допомогою об'єднання (побайтного мультиплексування) вирівняних по фазі адміністративних і трибутарних блоків, завантажених інформацією, призначеної для передачі;

- реалізація систем передачі на базі програмно-технічних засобів;
- наявність надлишкової інформаційної ємності в інформаційних блоках, що використовується для контролю їхнього стану й обслуговування.

2.1.2 Принцип мультиплексування в SDH

Загальний алгоритм мультиплексування у SDH згідно рекомендації G.709 включає в себе такі процеси як:

1. SDH - розміщення (SDH Mapping). Процедура погодження сигналів навантаження віртуальним контейнерів в межах мережі SDH. За допомогою цієї процедури цифрові потоки узгоджуються з віртуальними контейнерами.

Розміщення у SDH поділяють на:

- синхронне;
- асинхронне розміщення.

2. SDH -мультиплексування (SDH Multiplexing). Процедура погодження декількох сигналів тракту низького порядку до тракту високого порядку або декількох сигналів трактів високого порядку до мультиплексорної секції.
3. SDH - вирівнювання (SDH Aligning). Процедура, в процесі якої в транспортний або адміністративний блок вводиться інформація про величину відступу початку циклу навантаження від початку циклу обслуговуючого мережевого рівня.

Загальний алгоритм мультиплексування наведений на рис.2.2. За допомогою даного алгоритму можливо формувати потік STM будь-якого рівня без проміжного мультиплексування в потоки STM-1.»[4]

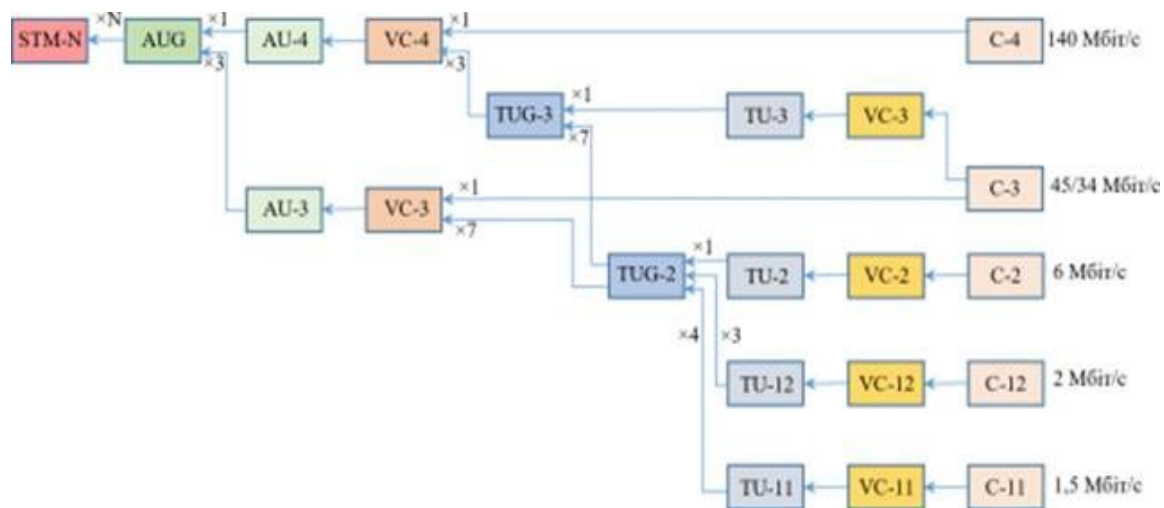


Рисунок 2.2 – Загальний алгоритм мультиплексування у SDH

2.1.3 Топологія та архітектура побудови транспортних мереж SDH

«Для проектування мереж потрібно пройти декілька етапів першим із них є вибір топології. Для побудови SDH систем використовують декілька базових стандартних топологій:

1. Топологія точка-точка

Топологія точка-точка є найбільш простим прикладом базової технології мереж SDH, її наведена на рис. 2.3. Кільце SDH будується із мультиплексерів вводу-виводу, які мають не менш, ніж два агрегатних порту (рис.2.3). Потоки користувачів вводяться в кільце та виводяться з кільця через трибутарні порти, створюючи з'єднання типу «точка-

точка

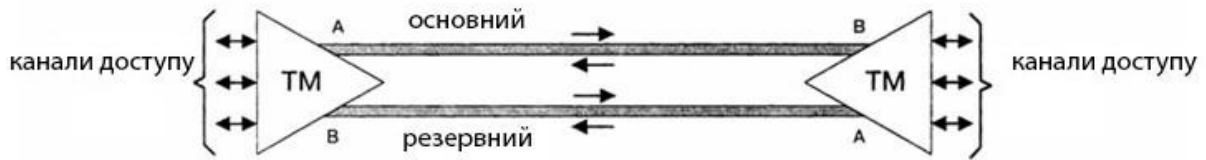


Рисунок 2.3 – Топологія точка-точка

2. Топологія послідовний лінійне кільце.

Ця базова топологія застосовується тоді, коли інтенсивність трафіку в мережі не дуже велика і існує необхідність відгалужень в ряді точок лінії, де можуть вводитися канали доступу. Цю топологію може бути реалізовано в вигляді простого послідовного лінійного кола без резервування. Для побудови можуть бути використані як термінальні мультиплексори на обох кінцях ланцюга, так і мультиплексори вводу/виводу в точках виділення. Вона може бути представлена у двох варіантах:

- Перший в вигляді простого послідовного лінійного ланцюга рис. 2.4



Рисунок 2.4 – Топологія простий послідовний ланцюг

- Другий у вигляді ланцюга з резервуванням 1+1 рис. 2.5



Рисунок 2.5 – Топологія ланцюг з резервуванням 1+1

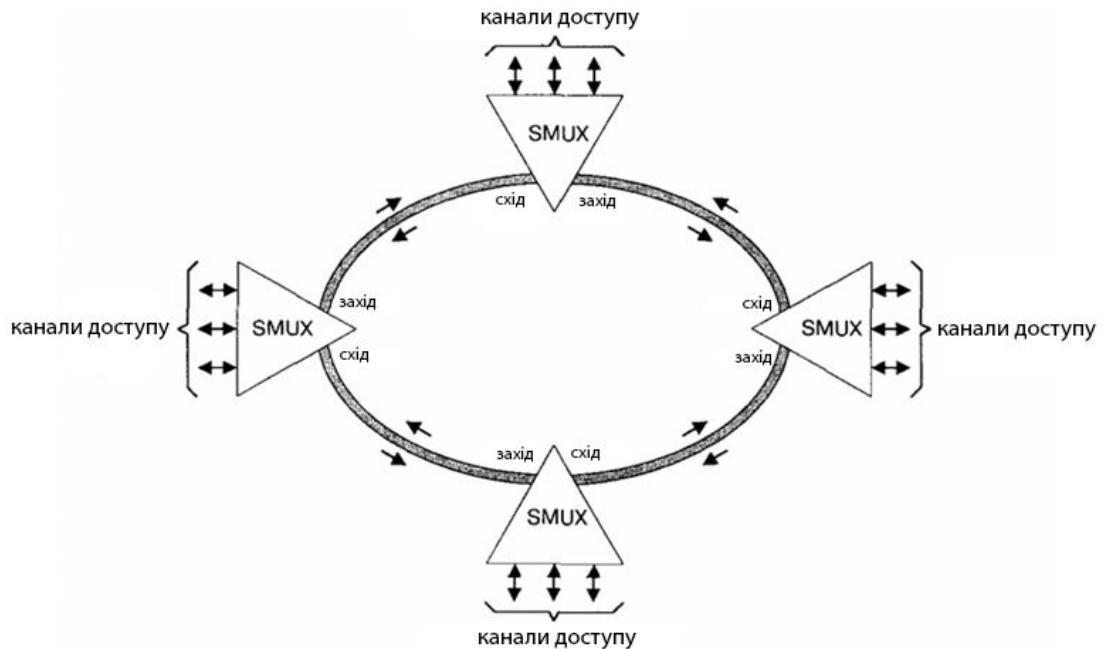


Рисунок 2.6 – Топологія кільце

Загальним принципом захисту мереж SDH є резервування апаратури такої як мультиплексори чи оптичні лінії з'язку та автоматичний перехід на зарезервовану апаратуру у випадках погіршення її функціонування або пошкодження. У SDH системах використовують декілька схем резервування: $1 + 1$

При конфігурації $1 + 1$ (рис. 2.7) сигнал STM-N при передачі надсилається по основному і по резервному трактах. При прийомі функцією MSP вибирається найкращий сигнал за допомогою байтів K1 і K2 заголовка STM або на основі інформації, отриманої системою керування. Через невідповідність передачі сигналу по резервному тракту, схема $1 + 1$ не дозволяє збільшити трафік за рахунок організації додаткового каналу.»[13]

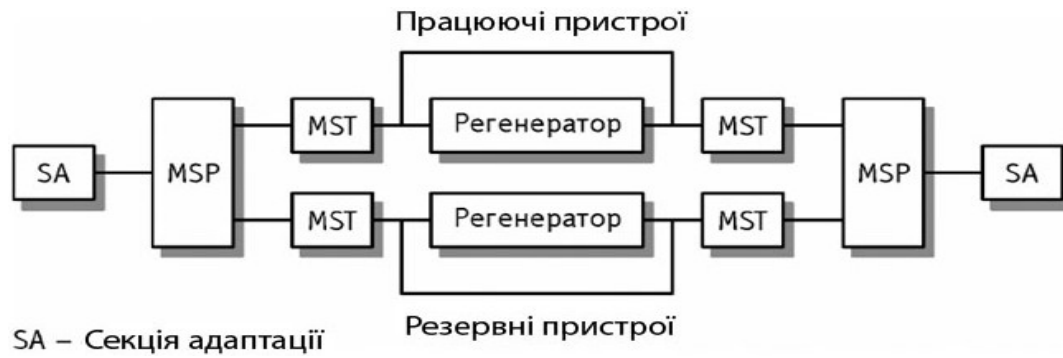


Рисунок 2.7 – Схема резервування 1+1

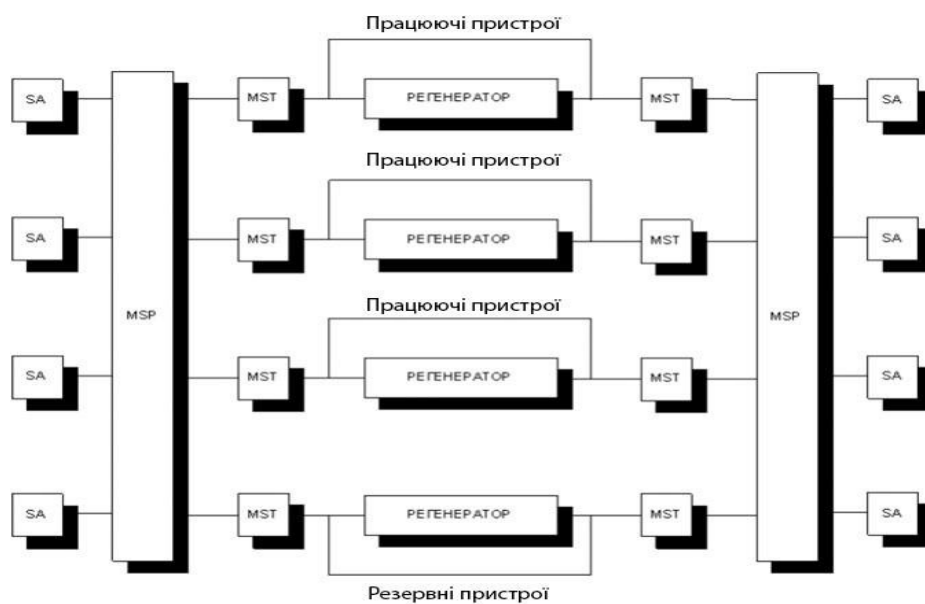


Рисунок 2.8 – Схема резервування 1: n

2.2 Мережі NG SDH

2.2.1 Особливості технології NG SDH

«Тепер, з впровадженням NG SDH/SONET, з'являється нова можливість, зумовлена двома факторами: по-перше, простим методом інкапсуляції, здатним враховувати будь-які протоколи пакетів даних, а по-друге, продемонстрованою ефективністю використання пропускної здатності. Це означає, що було розроблено новий протокол адаптації, а також новий механізм відображення для керування пропускною здатністю, зберігаючи при цьому

надійність застарілого транспорту SDH/SONET та його централізоване управління.

Гнучкість SONET/SDH наступного покоління дозволяє мережевим операторам або будувати мережу, використовуючи гібридні платформи TDM/пакетного мультисервісного забезпечення, або надавати лише базове кадрування потоку передаваних бітів. З огляду на перехідний період у телекомунікаційній галузі, акцент в мережевих операціях робиться на задоволенні попиту клієнтів у межах обмеженого бюджету. SONET/SDH наступного покоління не тільки економічно ефективний, але й розширює можливості та потужність застарілих мереж до рівнів, що перевершують інші варіанти. Інтегруючи технологію SONET/SDH наступного покоління у застарілі мережі, можна досягти значного підвищення пропускної здатності, якості та доступності послуг, за умови проведення тестування та моніторингу для перевірки того, що нові та існуючі технології можуть задовольнити зростаючі вимоги до пропускної здатності.

2.2.2. Створення каналів передачі даних з адаптованою перепускною здатністю

Ідея розробки концепції мереж наступних поколінь запропонована в 2001 році Європейським інститутом стандартів електрозв'язку (ETSI) та Сектором стандартизації телекомунікацій Міжнародного союзу електрозв'язку (МСЕ-Т). Основним принципом мереж наступного покоління є відокремлення функцій надання послуг та функцій передачі трафіка. Для задоволення потреби відокремлення функцій мережі NGN повинні задовільняти наступні умови:

- підтримка численних технологій доступу з метою формування гнучкості на мережах доступу;
- розподілене керування, необхідне для адаптації до розподіленої природи мереж з комутацією пакетів та підтримки прозорості розташування при розподілених обчисленнях;
- відкрите керування, що вимагає відкритості обладнання контролю мережі з метою підтримки можливості створення послуг, відновлення та можливості підключення сервісних послуг третіми особами;
- поліпшений захист і безпека як базовий принцип відкритої архітектури для захисту інфраструктури мережі шляхом використання відповідних механізмів.

Інформаційний кадр GFP складається із двох основних частин – основного заголовка

(GFP Header або Core Header) та області корисного навантаження (Payload Area). Його структуру наведено на рис. 2.9.

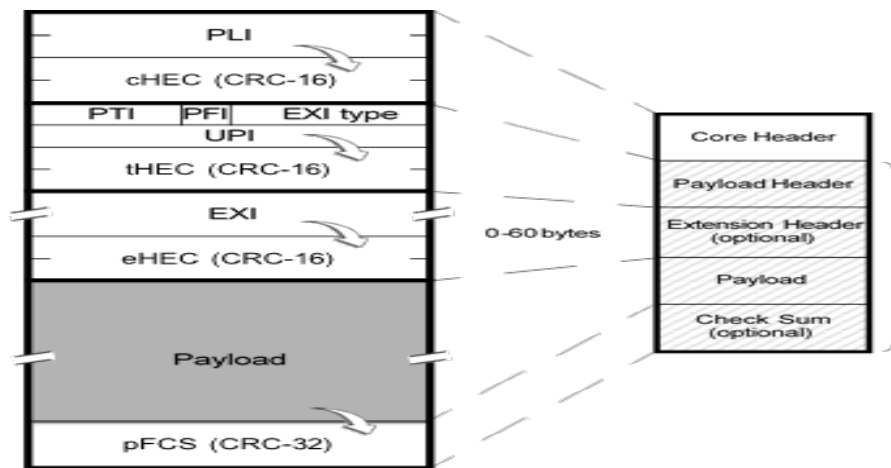


Рисунок 2.9 – Структура кадру GFP

Основний заголовок (GFP Header) складається із двох груп байтів:

1. Вказівника довжини області корисного навантаження (Payload Length Indicator, PLI) довжиною в 16 біт (2 байта). Мінімальне значення PLI для інформаційного кадру складає 4 байта. Значення PLI від 0 до 3 зарезервовані для керуючих кадрів.

2. Поля контрольної суми заголовка (Core Header Error Control, cHEC), у якому передається CRC-16 для забезпечення захисту вмісту основного заголовка.

Область корисного навантаження кадру GFP (Payload Area) призначена для передачі інформації протоколу більш високого рівня і має змінну довжину від 4 до 65535 байт. Вона складається із трьох частин: заголовка корисного навантаження (Payload header), поля корисного навантаження (Payload) та необов'язкового поля контрольної суми FCS(CRC-32) корисного навантаження (Payload frame check sequence, pfcs) яке використовується для контролю вірогідності передавання по каналу без розриву зв'язку.

Поле корисного навантаження може містити у собі одну повну інформаційну структуру вхідного трафіка (GFP-F) чи фрагмент трибутарного потоку (GFP-T).

Режим відображення пакетів (frame-mapped, GFP-F) передбачає сегментацію вхідного потоку на окремі інформаційні структури (кадри Ethernet/MPLS, пакети IP і т.п.), упакування кожної з них до окремого кадру GFP з метою наступного транспортування відповідними трактами системи передачі.

GFP-F має такі особливості:

- PDU буферизується перед інкапсуляцією
- PDU можуть відображатися для різних швидкостей передачі
- Добре підходить для трафіку даних (Ethernet, IP), проте затримки можуть бути неприйнятні для протоколів мереж зберігання даних (SAN)

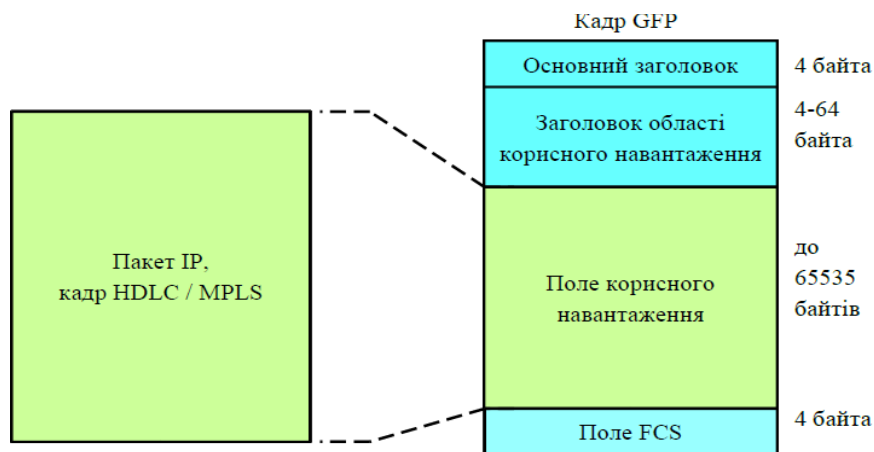


Рисунок 2.10 – Формування кадру GFP-F з пакетів IPv4, IPv6 та кадрів MPLS

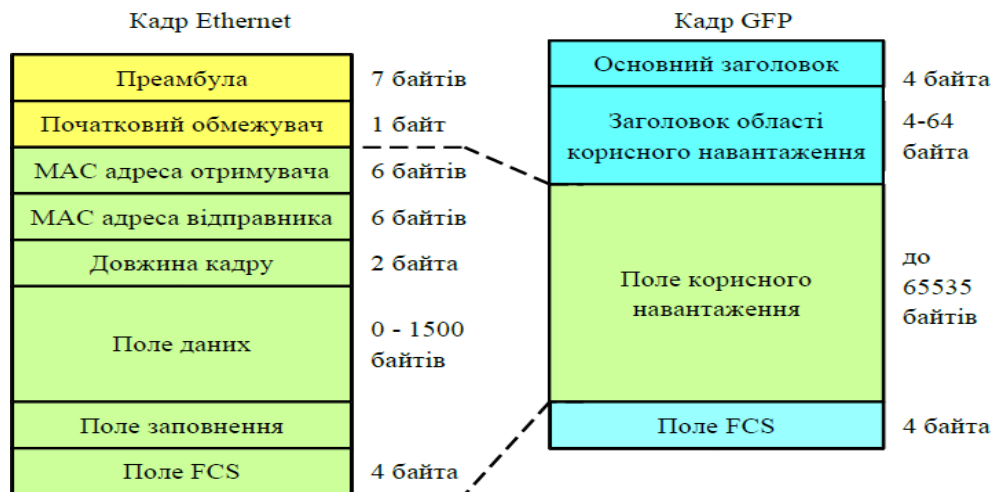


Рис.2.11 – Формування кадра GFP-F з кадрів Ethernet

2.2.2.1 Універсальний фрейм GFP

GFP (GFP-T) – це метод інкапсуляції, незалежний від протоколу, в якому всі клієнтські сигнали відображаються на кадри GFP фіксованої довжини. Після заповнення

кадру GFP він передається негайно, не чекаючи на отримання всього пакету даних клієнта. Таким чином, це механізм відображення рівня 1, оскільки всі символи клієнта без винятку транспортуються на дальній кінець. GFP-T повністю сліпий до значення кодів і не розрізняє інформацію, проміжки між кадрами, заголовки, символи керування потоком, накладні дані або коди очікування.

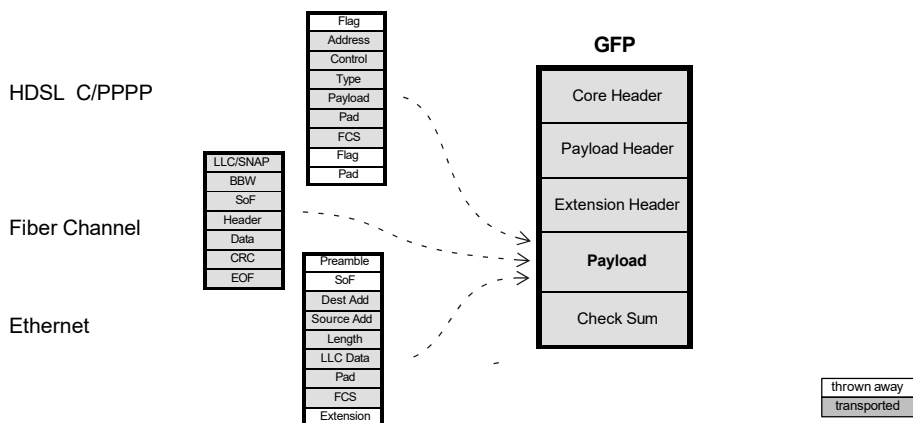


Рис. 2.12 - GFP-картування клієнтських сигналів.

GFP-T інкапсулює будь-який протокол, якщо він базується на лінійному кодуванні 8B/10B, тому його часто називають протокол-агностичним. Символи 8B/10B декодуються, кодуються знову до 64B/65B і, нарешті, розбиваються на кадри GFP-T фіксованого розміру. GFP-T дуже добре підходить для ізокронних протоколів (чутливих до часу та затримки), а також для SAN, таких як ESCON або FICON. Це пояснюється тим, що немає потреби обробляти клієнтські кадри або чекати на прибуття повного кадру. Ця перевага нейтралізується втратою ефективності, оскільки вузол MSxP джерела все ще генерує трафік, коли дані не отримуються від клієнта.

2.2.2.2 Віртуальна конкатенація віртуальних контейнерів

Схема структурного мультиконтейнера VC-4-Xс при послідовній конкатенації складається з маршрутного заголовка РОН ($9 \cdot X$), в якому використовується тільки РОН першого VC-4 ($9 \cdot 1$), а решту складають фіксованого заповнення розміру $9 \cdot (X - \text{Поле корисного навантаження})$ має розмір $X \cdot 260$ і складається з суміжних полів

адміністративних блоків AU-4 модуля STMN. Схему мультиконтейнера при послідовній конкатенації наведено на рис. 2.13, а швидкості у табл.2.5

5

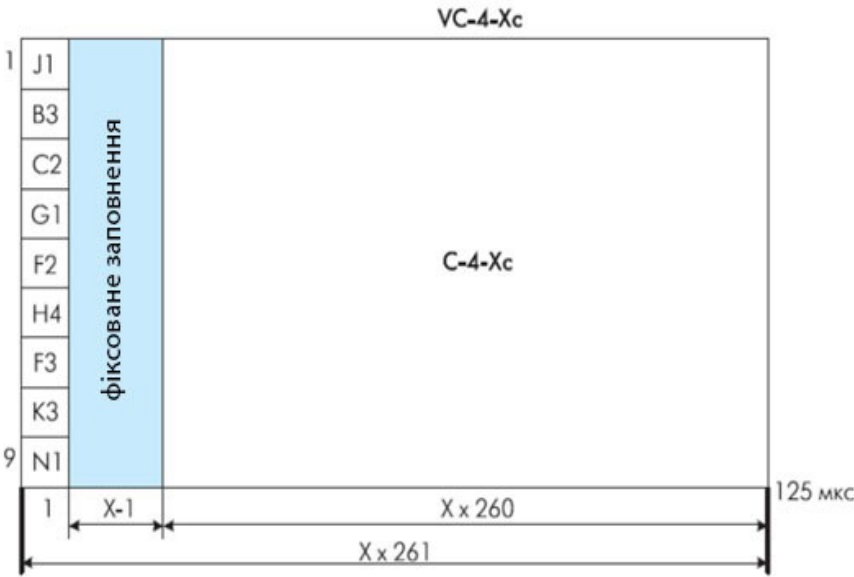


Рисунок 2.13 – Структура мультиконтейнера VC-4-Xc при послідовній конкатенації.

Таблиця 2.5 – Швидкості мультиконтейнерів при послідовній конкатенації

Рівень STM-N	STM-4	STM-16	STM-64	STM-256
Коеф. X	4	16	64	256
Швидкість VC-4-Xc, біт/с	599,04	2396,16	9584,64	38338,56

Таблиця 2.6 – Ефективність мультиконтейнерів при послідовній конкатенації

Служба	Ефективність використання каналу без VCAT	Ефективність використання каналу з VCAT
Ethernet 10 Мбіт/с	VC 3 -29,4%	VC-12-5V – 92%
Fast Ethernet 100 Мбіт/с	VC 4 – 71,4%	VC-12-47V – 100%
Gigabit Ethernet 1000 Мбіт/с	VC-4-16 – 42%	VC-4-7v -85%

Віртуальна конкатенація (VCAT) – це метод зворотного мультиплексування, який дозволяє гранулярне збільшення пропускної здатності в окремих одиницях VC-п. На вузлі джерела VCAT створює безперервне корисне навантаження, еквівалентне X одиницям VC-п (див. таблицю 3.3). Набір із X контейнерів відомий як Віртуальна група контейнерів (VCG), і кожен окремий VC є членом VCG. Усі члени VC надсилаються до вузла призначення незалежно, використовуючи будь-який доступний шлях, якщо необхідно. У вузлі призначення кожен VC-п організовується відповідно до вказівок, наданих байтом H4 або V5, і, нарешті, доставляється як єдиний потік клієнту. Різні затримки між членами VCG ймовірні, оскільки вони транспортуються окремо та можуть використовувати різні шляхи з різними затримками. Тому вузол призначення повинен компенсувати різні затримки перед повторним складанням корисного навантаження та наданням послуги. Віртуальна конкатенація потрібна лише на граничних вузлах і сумісна зі старими мережами SDH, незважаючи на те, що вони не підтримують жодної конкатенації. Щоб отримати повну перевагу VCAT, окремі контейнери повинні транспортуватися різними маршрутами по мережі, тому, якщо посилення або вузол виходить з ладу, з'єднання постраждає лише частково. Це також спосіб забезпечення стійкості сервісу.

Віртуальна конкатенація вищого порядку (HO-VCAT) використовує X контейнерів VC3 або VC4 ($VC3/4-X_v$, $X = 1 \dots 256$), забезпечуючи пропускну здатність X помножених на 48 384 або 149 760 кбіт/с.

Віртуальний конкатенований контейнер VC-3/4- X_v відображається в незалежні конверти VC-3 або VC-4, які транспортуються окремо через мережу. Між окремими віртуальними комірками можуть виникати затримки, і це, очевидно, має бути компенсовано під час повторного збирання початкового корисного навантаження (див. Рисунок 3.10). У H4 реалізовано механізм багато кадрової взаємодії для компенсації різниць затримок до 256 мс:

- Кожен окремий віртуальний комір має індикатор багатокадрової взаємодії H4 (MFI), який позначає віртуальний контейнер, до якого він належить.
- ВК також відстежує свою позицію X у VCG, використовуючи номер SQ, який передається в H4.

Віртуальна конкатенація нижчого порядку (LO-VCAT) використовує X контейнерів VC11, VC12 або VC2 (VC11/12/2- X_v , $X = 1 \dots 64$).

VCG, побудований з членами V11, VC12 або VC2, забезпечує корисне навантаження X контейнерів C11, C12 або C2; тобто пропускну здатність X разів 1600, 2176 або 6784 кбіт/с. Члени VCG транспортуються окремо через мережу, тому між окремими компонентами VCG можуть виникати різні затримки, які будуть компенсовані на вузлі призначення перед повторним складанням початкового безперервного корисного навантаження. У біті 2 K4 реалізовано механізм багатокадрової передачі даних. Він містить порядковий номер (SQ) та індикатор багатокадрової послідовності (MFI), які дозволяють змінювати порядок членів VCG. Вузол призначення MSxP чекатиме, поки не прибуде останній член, а потім компенсуватиме затримки до 256 мс. Важливо зазначити, що K4 сам є багатокадровим, який отримується кожні 500 мкс, а вся багатокадрова послідовність повторюється кожні 512 мс.

2.2.2.3 Протокол LCAS

Схема динамічного регулювання пропускну здатності лінії використовується для зміни (збільшення або зменшення) пропускну здатності мультиконтейнера, що транспортується мережею SDH з використанням віртуальної конкатенації при цьому керування ємністю відбувається незалежно у обох напрямках. Використання даної схема дозволяє автоматично зменшити пропускну здатність каналу у випадку збою

елемента в мережі. Пропускна здатність каналу збільшиться (відновиться до попереднього значення) після усунення відповідних несправностей. Схема застосовується до будь-якого елемента віртуально зчепленої групи.

Керування ємністю відбувається шляхом передачі керуючого пакета (рис. 2.14), котрий включає в себе наступну інформацію.

З боку відправника до приймача:

1. показчик мультiframe MFI
2. показчик послідовності SQ
3. керуюче повідомлення CTRL
4. ідентифікатор групи GID
5. CRC

З боку приймача до відправника:

1. статус члена групи конкатенації (MST)
2. підтвердження, що прийняті зміни в складі віртуальної групи (VCG)
3. CRC

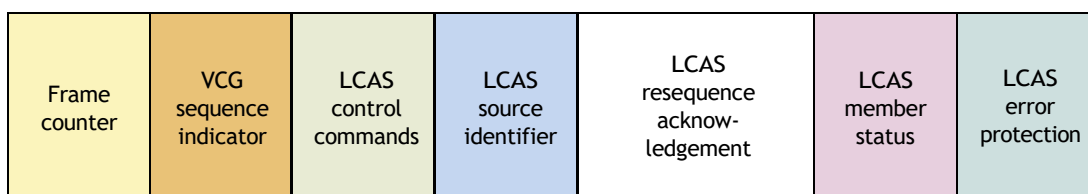


Рисунок 2.14 – Формат керуючого пакета LCAS

Керуючий пакет дублюється всіма членами групи віртуальної конкатенації. Це допомагає забезпечити високу надійність обміну про стан групи між джерелом і одержувачем.

Алгоритм функціонування LCAS передбачає організацію односпрямованих ширококутових трактів. Для дуплексного зв'язку необхідно створювати два тракти із протилежними напрямками передачі. Вони функціонують незалежно і можуть мати різну пропускну здатність. Якщо є необхідність збільшити пропускну здатність обох напрямів тракту необхідно виконати процедуру додавання елементів VCG, для кожного напрямку окремо. LCAS сама тимчасово видаляє з VCG елементи, що дали збої. Після усунення несправності елемент автоматично повертається до складу групи.

На рис. 2.15 зображено організація двох віртуально конкатенованих груп в одній груповій інформаційній структурі.

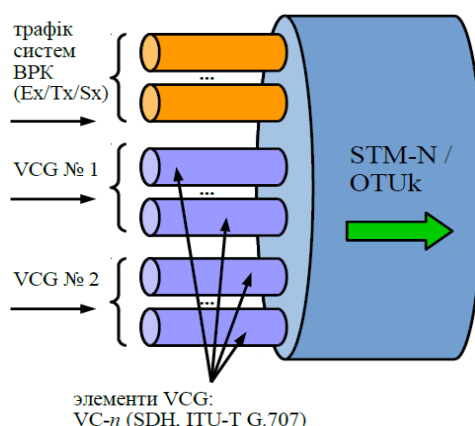


Рисунок 2.15 – Організація кількох груп VCG у системах NG-SDH

Важливо зазначити, що LCAS сама по собі не може автоматично надавати динамічну пропускну здатність залежно від потреб трафіку. Вона не може обчислювати або встановлювати маршрути, щоб скористатися перевагами віртуальної конкатенації. Це було б дуже складно і вимагало б не лише комплексного аналізу трафіку, але й контролю архітектури SDH/SONET для налаштування та очищення каналів. Це далеко виходить за межі можливостей LCAS. Надання маршрутів здійснюється Системою управління мережею (NMS). Цікаво усвідомити, що більшість пакетних технологій, таких як Ethernet, працюють за принципом найкращого зусилля. За пакетною передачею слідує періоди низької активності, які в середньому компенсують піки трафіку. Отже, втрата пропускну здатності в основній мережі може означати лише більші черги на рівні адаптації, і часто єдиним наслідком є більша затримка, але не втрата кадрів. Багато служб передачі даних дуже толерантні до затримок, тому ситуацію втрати пропускну здатності можна ідеально контролювати.

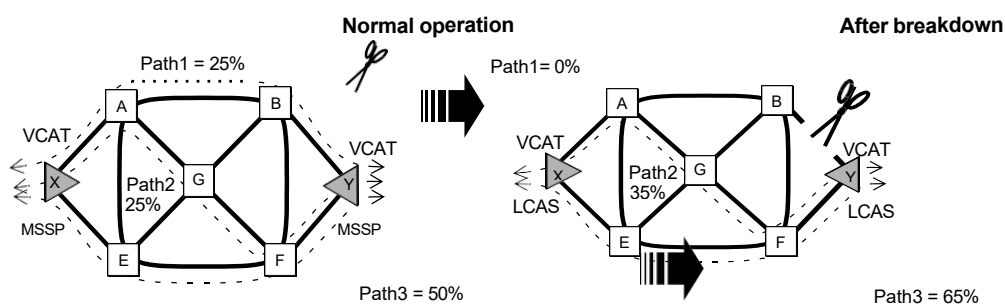


Рисунок 2.16 - Диверсифікації між точками X та Y з використанням VCAT та LCAS

Стійкість, ймовірно, є основним застосуванням LCAS, що реалізує стратегію, відому як диверсифікація (див. рисунок 3.16). Ця стратегія полягає в надсиланні трафіку за допомогою кількох шляхів. У разі часткового виходу з ладу одного шляху LCAS що налаштовує з'єднання, використовуючи учасники, які все ще працюють і здатні продовжувати передавати трафік. Диверсифікація особливо важлива для мереж пакетної передачі даних, що використовують статистичне мультиплексування, таке як Ethernet. Транспортвані сигнали не повинні бути особливо чутливими до затримок, оскільки зменшення доступної пропускної здатності може збільшити черги на GFP-F. Час відновлення LCAS становить від 64 мс для VC-4 та інших віртуальних конкатенацій вищого порядку до 128 мс для VC-12 та інших віртуальних конкатенацій нижчого порядку.

У випадку IP-мережі топологія маршрутизатора залишатиметься активною, але буде доступна менша пропускна здатність, а отже, збільшиться затримка. Однак уникаються постійні складні конфігурації та реконфігурації між маршрутизаторами. Диверсифікація LCAS може поєднувати та навіть замінювати існуючі архітектури захисту, такі як MSSPRING або MSDPRING, які також можна використовувати з NG SDH/SONET, але вони дорогі, оскільки вимагають резервних ресурсів, які ніколи не використовуються, окрім випадків збою.

Висновки до розділу 2

У даному розділі були розглянуті історія та причини появи технології SDH. Були розглянуті топологія, архітектура транспортних мереж SDH та основні структурні елементи такі як: контейнер, віртуальний контейнер, транспортний блок, групатранспортних блоків, адміністративний блок, група адміністративних блоків, синхронний транспортний модуль. Розглянуто особливості технології NG SDH, розглянуто функції та структура GFP. Розглянуто функції VCAT, наведено ефективність використання пропускної здатності для систем без VCAT і з VCAT. Розглянуто функції та формат керуючого пакета LCAS Функція MSP установлює зв'язок з відповідною функцією MSP далекого кінця для координації операцій переключення за допомогою біт-орієнтованого.»[7]

3 ТРАНСПОРТНІ МЕРЕЖІ, ПОБУДОВА ТРАНСПОРТНОЇ МЕРЕЖІ СИНХРОННОЇ ІЄРАРХІЇ SDN

3.1 Резервування мультиплексної секції MSP

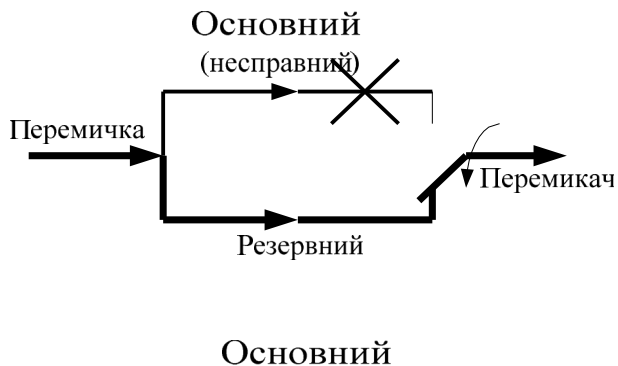
Резервування мультиплексної секції MSP (Multiplex Section Protection)

засновано на надлишковості апаратури, оптичних волокон і операції переключення: у випадку пошкодження робочого тракту сигнал стає досяжним по резервному .

Функція MSP може здійснювати переключення як в одному напрямку передавання (рис. 3.1) або в обох напрямках передавання, рис. 3.2. При односпрямованому переключенні здійснюється перехід на резервний тракт тільки в пошкодженному напрямку передавання. При двоспрямованому переключенні здійснюється перехід на резервну секцію в обох напрямках.

Односпрямоване та двоспрямоване переключення можуть використовуватись як в режимі зворотного переключення, так і без зворотного переключення в залежності від способу керування мережею. В режимі зворотного переключення тракту після усунення пошкодження на секції здійснюється повернення на основний напрямок. В режимі без зворотного переключення після усунення пошкодження не виконується повернення на основний тракт .

Визначені дві конфігурації переключення на резерв MSP: $1 + 1$ і $1 : 1$ (рисунки 1.3.3, 1.3.4 і 1.3.5). При цих методах резервування два вузла з'єднуються по двох трасам (100% резервування), по яким одночасно передаються сигнали.



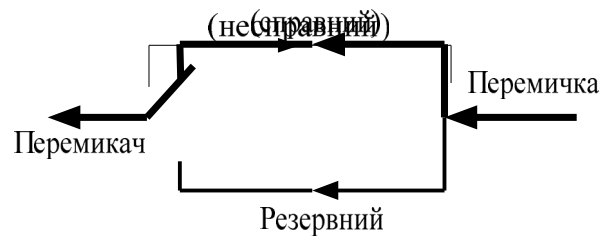
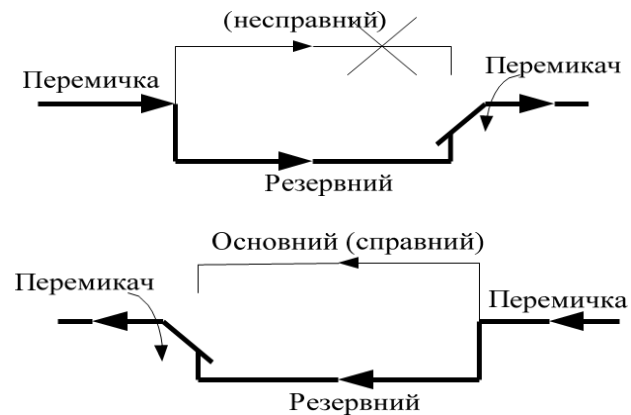


Рисунок 3.1 – Схема односпрямованого переключення на резервний тракт



———— лінія, по якій здійснюється передавання даних
 ————— лінія, в якій немає передавання даних

Рисунок 3.2 – Схема двоспрямованого переключення на резервний тракт

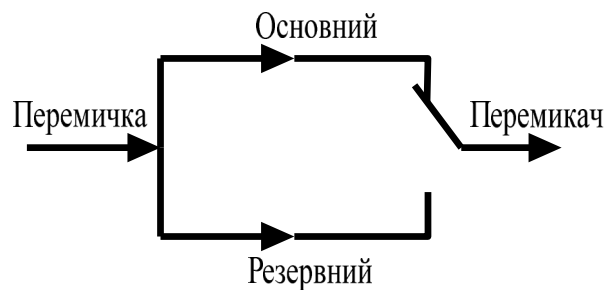


Рисунок 3.3 – Схема переключення 1 + 1

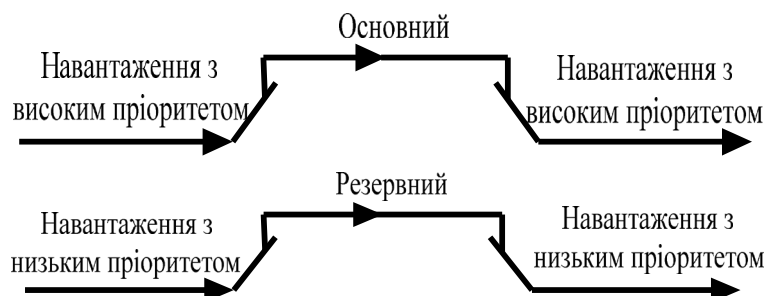


Рисунок 3.4 – Схема переключення 1 : 1, на резервний тракт підключається навантаження з низьким пріоритетом



Рисунок 3.5 – Схема переключення 1 : 1, резервний тракт використовується для навантаження з високим пріоритетом після відключення навантаження з низьким пріоритетом

При виконанні схеми захисту 1 + 1 у вузлі аналізуються два прийняті сигнали і вибирається той, який має кращі параметри або який фактично можливий.

При резервуванні за схемою 1 : 1 у вузлі прийому альтернативним маршрутам призначаються пріоритети: високий і низький. Напрямок з низьким пріоритетом знаходиться у режимі гарячого резерву: переключення на нього здійснюється за сигналом про аварію від системи керування. Приймач каналу з низьким пріоритетом отримує сигнал CIAC (AIS).

З метою підвищення надійності мереж СЦІ використовуються системи оперативного переключення на працездатну ділянку.

У цьому випадку у вузлах мережі встановлюють крос-комутатори систем оперативного переключення, які у випадку пошкодження (розрив ОК або вихід з ладу вузла) в послідовному лінійному колі, здійснюють реконфігурацію маршрутів на прилеглих (вхідних або вихідних) ділянках мережі і відповідну крос-комутацію потоків.

Процедура такої реконфігурації може бути централізованою або розділеною.

Розглянемо варіанти оперативного переключення на працездатну ділянку.

1. Резервування мультиплексної ділянки, рис. 3.6.
2. Резервування тракту і резервування секції, рис. 3.7.
3. Резервування підключенням мережі нижнього рівня (SNCP), рис. 3.8.

Використання систем оперативного переключення за принципом організації захисту нагадує систему резервування 1 : 1. Відмінність в тому, що при застосовуванні схеми резервування 1 : 1 тракт передавання формується у момент оперативного переключення,

а у випадку методу резервування по рознесених трасах фізичний або віртуальний канал існує.

Розглянемо схему захисту з розділенням ресурсів каналів типу MS SPRing, яка широко застосовується у мережах СЦІ кільцевої та чарункової топологій. Цей метод захисту базується на розділенні ресурсів кілець як з двома, так і з чотирма волокнами. Особливістю захисту MS SPRing є те, що для передавання трафіка використовуються усі волокна, однак тільки 50 % ємності кожного оптичного волокна віддано під трафік і 50 % під трафік захисту.

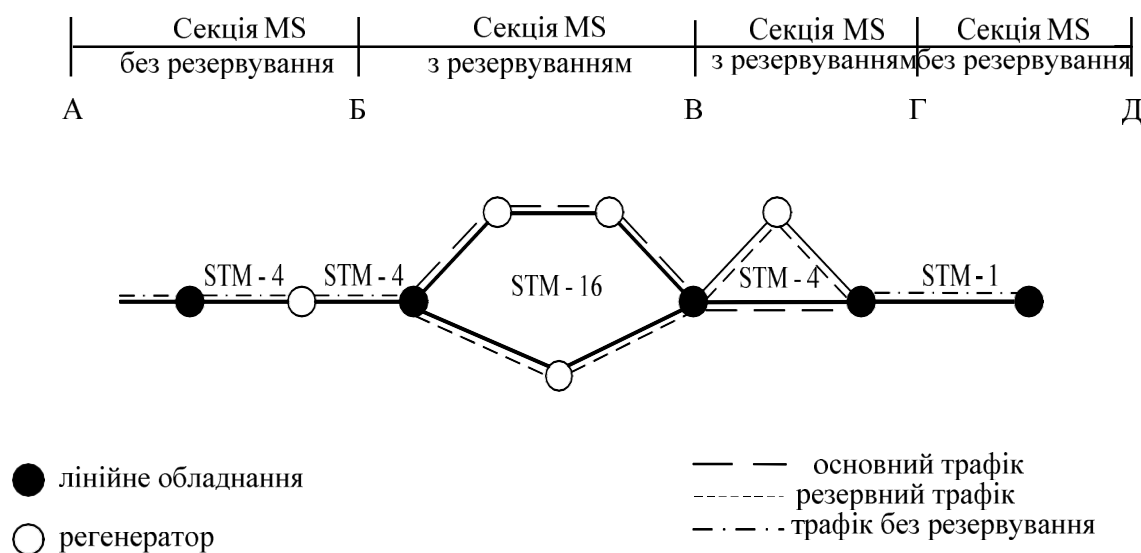
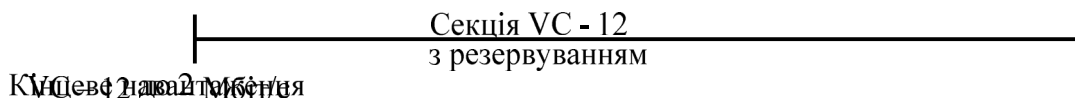


Рисунок 3.6 – Схема резервування мультиплексної ділянки

Організація і функціонування схеми захисту MS SPRing на прикладі кільцевої двоспрямованої двоволоконної мережі, рис. 3.9. На рис. 3.9 показано маршрут сигналу між вузлами А і Д при нормальному (а) та аварійному (б) станах. У першому випадку маршрут потоку А-В-С-Д проходить по робочому каналу через ділянки А-В, В-С, С-Д. У другому випадку при пошкодженні ділянки В-С маршрут змінюється на А-В-А-Г-Е-Д-С-Д і проходить по робочому каналу на ділянках (А-В, С-Д) та на ділянках (В-А, А-Г, Г-Е, Е-Д і Д-С) – по каналу захисту.



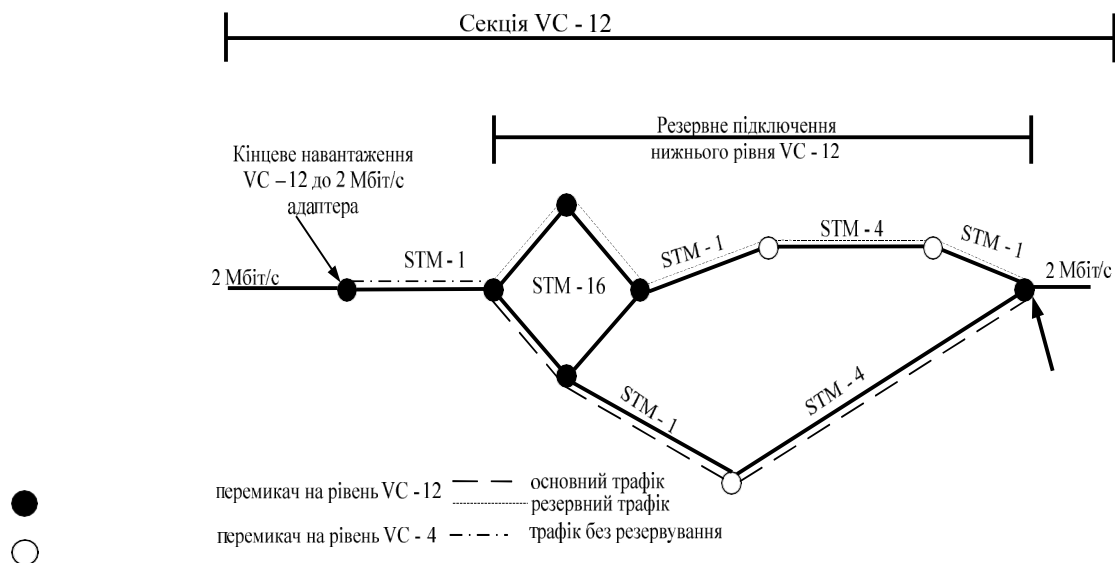


Рисунок 3.7 – Схема резервування підключенням мережі нижнього рівня з контролем тракту (SNCP)

Розглянемо схему захисту MS SPRing для чотириволоконного кільця: по двох ОВ в кожному робочому і захисному кільцях, які є двоспрямованими. Завдяки цьому схема MS SPRing дозволяє розміщувати 100 % (а не 50 %, як в двоволоконній схемі), що відповідає повній ємності.

На рис. 1.3.10 показаний маршрут сигналу між двома вузлами А і D мережі при двох станах: нормальному (а) та аварійному (б). У першому випадку маршрут потоку А-В-С-Д проходить, як і в двоволоконній схемі (рис. 1.3.9), по робочому каналу через ділянки А-В, В-С, С-Д. У другому випадку маршрут змінюється тільки на ділянці В-С, де робоча ділянка В-С замінюється на захисну.

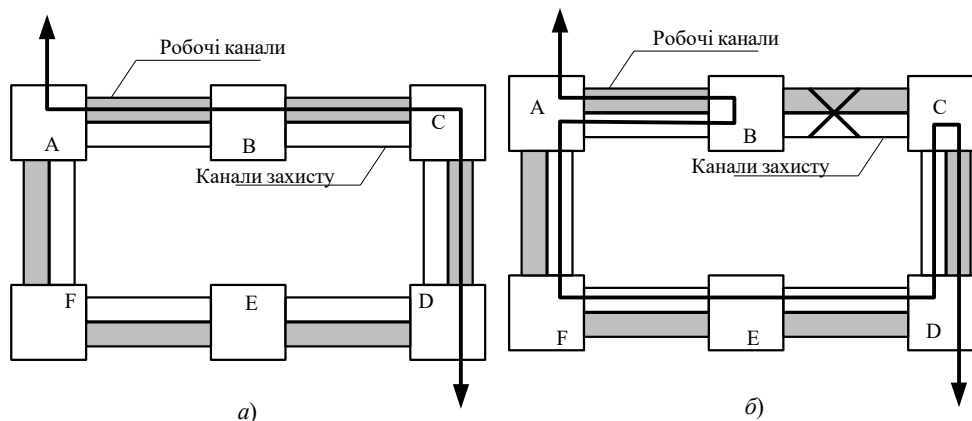


Рисунок 3.8 – Схема захисту потоків методом MS SPRing: а) нормальний стан, б) пошкодження ОВ на ділянці В-С

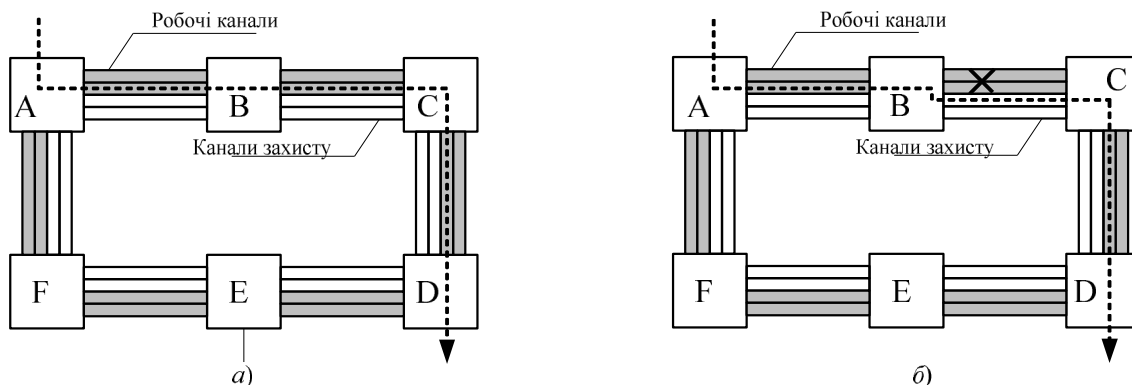


Рисунок 3.9 – Схема організації захисту потоків методом MS SPRing для чотириволоконного кільця: а) нормальний стан, б) пошкодження ОВ на ділянці В – С

Порівнюючи рисунки 1.3.9 і 1.3.10, можна зробити висновки про переваги та недоліки кожного варіанта. Але слід враховувати, що перехід на захисний канал на ділянці В-С (рис. 1.3.10) можливий тільки при не пошкоджених захисних ОВ. У випадку пошкодження не тільки робочих, але й захисних ОВ, схема проходження сигналу аналогічна тій, яка показана на рис.1.3.9.

Розглянемо, яка різниця між резервуванням лінії та карти (блока):

- переключення на резервну карту, рис. 1.3.11. Блок SN визначає несправність карти і включається резервна.
- переключення на резервну лінію, рис. 1.3.12. При аварії на ВОЛП в роботі залишається робоча карта, а резервна лінія підключається по шині PBUS.

SF, SD

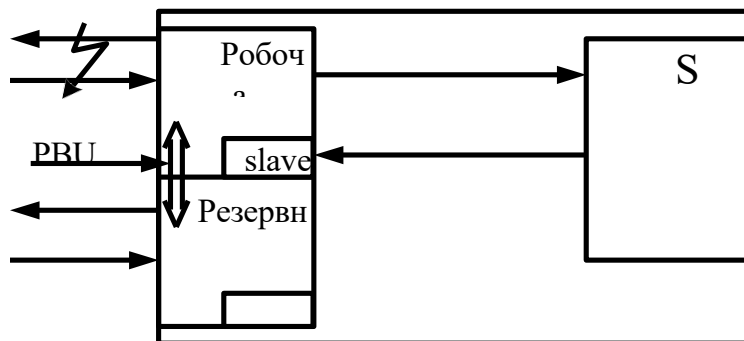


Рисунок 3.10 – Принцип резервування лінії, де SD – погіршення параметрів сигналів, SF – помилки у сигналі, PBUS – резервна шина

3.2 Складання мультиплексного плану і визначення рівня ієрархії ЦСП СЦІ

При проектуванні мережі СЦІ розробляється мультиплексний план. Прийmemo, що архітектура мережі радіально-кільцева, рис. 3.13.

У мережі реалізується двоспрямоване кільце з чотирма оптичними волокнами, що забезпечує високу надійність і дозволяє реалізовувати гнучкі схеми резервування. На відгалуженні в пункт Д застосовано два оптичних волокна. Захист у кільці MS SPRing (Multiplex Section Shared Protection Ring) є захист маршрутів потоку даних на основі розділення ресурсів у кільці.

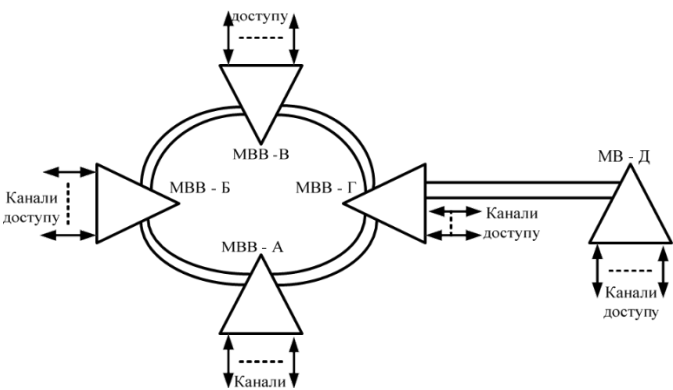


Рисунок 3.11 – Схема радіально-кільцевої мережі

Розподіл первинних цифрових потоків E1 між мережними вузлами наведено в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Розподіл ПЦП між мережними вузлами

Мережні вузли	MBV-A	MBV-B	MBV-B	MBV-Г	MBV-Д
MBV-A		70	45	50	13
MBV-B			55	35	15
MBV-B				30	12
MBV-Г					17
MB-Д					

Розробимо мультиплексний план для проектованої мережі. При побудові мультиплексного плану (рис. 3.14) «розриваємо» кільце в МВВ-Г і використовуємо дані табл. 3.1. Розраховуємо сумарну кількість ПЦП на кожній секції: АБ – 115 Е1; БВ – 150 Е1; ВГ – 92 Е1; ГД – 57 Е1; ГА – 63 Е1.

Необхідно визначити кількість виділених ПЦП в: п. А – 178 Е1, п. Б – 175 Е1, п. В – 142 Е1, п. Г – $(50 + 82) = 132$ Е1.

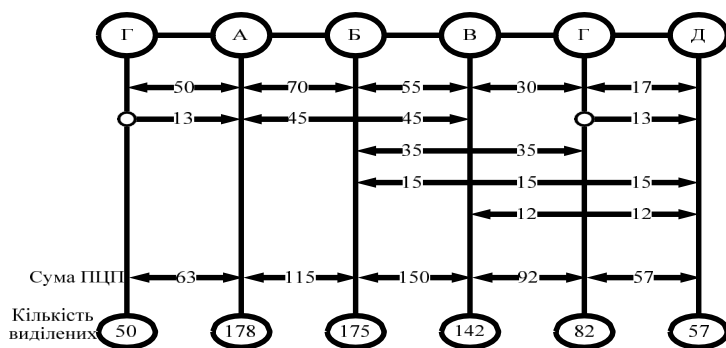


Рисунок 3.12 – Мультиплексний план

При визначенні рівня ієрархії мережі враховується кількість оптичних волокон, метод захисту, кількість цифрових потоків. Рівень ієрархії ЦСП СЦІ слід вибирати таким, щоб забезпечити надійне функціонування мережі як при нормальному стані, так і після аварії (наприклад, після розриву волоконно-оптичного кабелю).

Відомо, що при застосуванні методу захисту MS SPRing на чотирьох оптичних волокнах два оптичні волокна використовуються для передавання робочого трафіка та два на резерв. У нормальному режимі трафік передається по робочих волокнах.

Припустимо, що на одній з ділянок розірвано оптичний кабель. При цьому пошкодженні на одному кінці здійснюється переключення з робочої пари на резервну, а на другому з резервної на робочу. Таким чином організується обхід пошкодженої ділянки.

Рівень ієрархії в кільці визначається ділянкою з максимальною кількістю ПЦП. В даному випадку це ділянка Б-В, на якій необхідно забезпечити передавання 150 ПЦП. Оскільки $63\text{E1} < 150\text{E1} < 252\text{E1}$, використовуємо STM-4.

На відгалуженні слід організувати 57 ПЦП ($57\text{E1} < 63\text{E1}$), застосувавши STM-1.

Слід відзначити, що при використанні методу MS SPRing на двох оптичних волокнах є відмінність у визначенні рівня ієрархії мережі. В цьому випадку в кожному волокну ресурси

між робочими та захисними каналами розподіляються приблизно порівно, щоб при аварії на будь-якій ділянці робочий трафік можна було переключити на захисні канали. Для визначення рівня ієрархії мережі по мультиплексному плану (рис. 3.14) слід визначити суму двох найбільш завантажених ділянок

$$150 + 115 = 265$$

первинних цифрових потоків. Тому що $252E1 < 265E1 < 1008E1$, тоді в кільці слід використовувати STM-16.

Таким чином при розподілі ПЦП між мережними вузлами, наведеному в табл. 3.1, при застосуванні методу захисту MS SPRing на чотирьох оптичних волокнах використовується STM-4, а в двоволоконному – STM-16. На відгалуженні в обох випадках передається потік STM-1.

3.3 Вибір марки оптичного кабелю

У синхронних цифрових мережах використовується оптичний кабель з одномодовими оптичними волокнами.

Кабелі з оптичними волокнами, що відповідають рек. G.652 ITU-T, виробляє Одеський кабельний завод. У маркуванні оптичного кабелю відображається як його побудова, так і характеристики оптичних волокон. Розглянемо значення індексів у маркуванні кабелів ВАТ «Одескабель», табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Розшифрування індексів у маркуванні кабелів, де МІКЗ – максимальний індивідуальний коефіцієнт загасання

Номер позиц.	Назва індексу	Умове позначення індексів	Розшифрування умовного позначення індексів
1	2	3	4
1	Тип кабелю	ОК	Оптичний кабель
2	Область використання ОК	Л	Лінійний
3	Тип броні (індекс може бути відсутнім)	Б	Броня з плоских сталевих стрічок
		Бг	Броня з гофрованої сталевий стрічки
		К	Броня з одного шару круглих сталевих дротів
		КК	Броня з двох шарів круглих сталевих дротів
		С	Броня з одного шару діелектричних стрижнів

Продовження таблиці 3.2

6	Тип центрального силового елемента	Д	Діелектричний (склопластиковий) стрижень
		М	Металевий трос, який покритий поліетиленом або полівінілхлоридом
	Тип підсилювального елемента	А, 2А, 3А, 4А (варіанти)	Арамідні високомодульні нитки, що підвищують стійкість до розтягуючих зусиль
	Тип і матеріал захисних покриттів	1	Шланг з поліетилену
		2	Шланг з полівінілхлоридного пластикату, розповсюджує горіння
		3	Шланг з алюмополіетилену
		4	Оболонка з поліетилену, сталева броня та поліетиленовий шланг
		5	Те ж саме, але оболонка та шланг з полівінілхлоридного пластикату (ПВХ), що не розповсюджує горіння
		6	Оболонка з алюмополіетилену, сталева оцинкована броня та поліетиленовий шланг
		9	Оболонка з алюмополіетилену, сталева оцинкована броня та поліетиленовий шланг
		10	Поліетиленова оболонка, склопластикова броня та поліетиленовий шланг
		11	Оболонка з алюмополіетилену, склопластикова броня і поліетиленовий шланг
		12	Оболонка з поліетилену, броня з ламінованої сталі з електролітичним хромовим покриттям і шланг із поліетилену
		13	Броня зі сталі, оболонка та шланг з пластмас, що не розповсюджують горіння
	Конструкція шланга (індекс може бути відсутнім)	П	Полегшена конструкція шланга ОК
7	Побудови осердя ОК	3 x 4 (варіант)	(кількість оптичних модулів в ОК) x (кількість ОВ в оптичному модулі)
		Е	Одномодове оптичне волокно
		М	Багатомодове оптичне волокно

Продовження таблиці 3.2

1	2	3	4
8	Позначення опорної довжини хвилі	В	$\lambda = 850$ нм – багатомодовий режим
		А	$\lambda = 1300$ нм – багатомодовий або одномодовий режим
		Ф	$\lambda = 1310$ нм – одномодовий режим
		Н	$\lambda = 1550$ нм – одномодовий режим
	Оптичні параметри волокон		МІКЗ і дисперсія (або ширина смуги) на відповідній довжині хвилі
	Одномодові за рекомендацією ІТУ-Т G.652 (працюють у двох вікнах прозорості $\lambda = 1310$ нм і $\lambda = 1550$ нм)	0,40Ф3,5/ 0,30Н19 (варіант)	МІКЗ = 0,4 дБ/км), коефіцієнт хроматичної дисперсії (не більше 3,5 пс/(нм ² км) на опорній довжині хвилі Ф (1310 нм))/(МІКЗ (0,30 дБ/км), коефіцієнт хроматичної дисперсії (не більше 19 пс/(нм ² км) на опорній довжині хвилі Н (1550 нм)
	Одномодові (працюють на довжині хвилі 1300 нм)	0,7А6,0 (варіант)	МІКЗ = 0,7 дБ/км, коефіцієнт хроматичної дисперсії (не більше 6,0 пс/(нм ² км) на опорній довжині хвилі А ($\lambda = 1300$ нм)
	Багатомодові за рекомендацією ІТУ-Т G.651 (працюють на довжині хвилі 850 нм)	5В250 (варіант)	МІКЗ (5 дБ/км), коефіцієнт широкосмуговості не менше 250 МГц х км на опорній довжині хвилі 850 нм
9	Багатомодові за рекомендацією ІТУ-Т G.651 (працюють на довжині хвилі 1300 нм)	1,0А800 (варіант)	МІКЗ (1,0 дБ/км), коефіцієнт широкосмуговості не менше 800 МГц х км на опорній довжині хвилі 1300 нм
	Загальна кількість ОВ і мідних жил дистанційного живлення у кабелі	12/2 (варіант)	(загальна кількість ОВ в кабелі (12 штук))/(кількість жил дистанційного живлення у кабелі (2 штуки))

3.4 Технічні параметри апаратури СЦІ компанії ERICSSON

Основні параметри оптичних інтерфейсів рівня STM-1, STM-4 та STM-16 наведені в таблицях 3.3, 3.4 та 3.5 відповідно.

Таблиця 3.3 – Параметри оптичних інтерфейсів рівня STM-1 компанії ERICSSON

Назва параметра	Одиниці вимірюв.	Значення параметру				
Номінальна швидкість передавання	Мбіт/с	155,52				
Тип інтерфейсу	-	S-1-1	S-1-2	L-1-1	L-1-2	
Діапазон робочих довжин хвиль	нм	1261...1360	1430...1580	1280...1335	1480...1580	
Тип джерела випромінювання	-	MLM	MLM	SLM	MLM	SLM
Максимальний рівень вихідної оптичної потужності	дБм	-8	-8	0	0	
Мінімальний рівень вихідної оптичної потужності	дБм	-15	-15	-5	-5	
Мінімальний рівень чутливості	дБм	-28	-28	-34	-34	
Діапазон загасання	дБ	0...12	0...12	10...28	10...28	

Таблиця 3.4. – Параметри оптичних інтерфейсів рівня STM-4 компанії ERICSSON

Назва параметра	Одиниці вимірюв.	Значення параметру				
Номінальна швидкість передавання	Мбіт/с	622,08				
Тип інтерфейсу	-	S-4-1	S-4-2	L-4-1	L-4-2	
Діапазон робочих довжин хвиль	нм	1293...1334	1430..1580	1230..1325	1280..1335	1480..1580
Тип джерела випромінювання	-	MLM	SLM	MLM	SLM	SLM
Максимальний рівень вихідної оптичної потужності	дБм	-8	-8	+2	+2	
Мінімальний рівень вихідної оптичної потужності	дБм	-15	-15	-3	-3	
Мінімальний рівень чутливості	дБм	-28	-28	-28	-28	
Діапазон загасання	дБ	0...12	0...12	10...24	10...24	

Таблиця 3.5 – Параметри оптичних інтерфейсів рівня STM-16 компанії ERICSSON

Назва параметра	Одиниці вимірюв.	Значення параметру				
Номінальна швидкість передавання	Мбіт/с	2488,32				
Тип інтерфейсу		S-16-1	S-16-2	L-16-1		L-16-2
Діапазон робочих довжин хвиль	нм	1260.. ...1360	1430.. ...1580	1230.. ...1325	1280.. ...1335	1480.. ...1580
Тип джерела випромінювання		SLM	SLM	SLM		SLM
Максимальний рівень вихідної оптичної потужності	дБм	0	0	+3		+3
Мінімальний рівень вихідної оптичної потужності	дБм	-5	-5	-2		-2
Мінімальний рівень чутливості	дБм	-18	-18	-28		-28
Діапазон загасання	дБ	0...12	0...12	10...24		10...24

Використовується обладнання компанії ERICSSON: в кільці AXD-620 (STM-4), на відгалуженні – AXD-155 (STM-1)

У залежності від довжин регенераційних ділянок вибираються лінійні інтерфейси *S* або *L*. В пункті Г організується мережний вузол переключення (МВП), в пунктах А, Б, В – мережні вузли виділення (МВВ), а в пункті D – термінальний мультиплексор (ТМ).

Первинні цифрові потоки Е1 подаються на трибутивні модулі. Застосовуються три типи трибутивних модулів: 16×2 Мбіт/с, 32×2 Мбіт/с, 63×2 Мбіт/с на 16, 32 та 63 первинні потоки.

Схема організації зв'язку наведена на рис. 3.4.1.

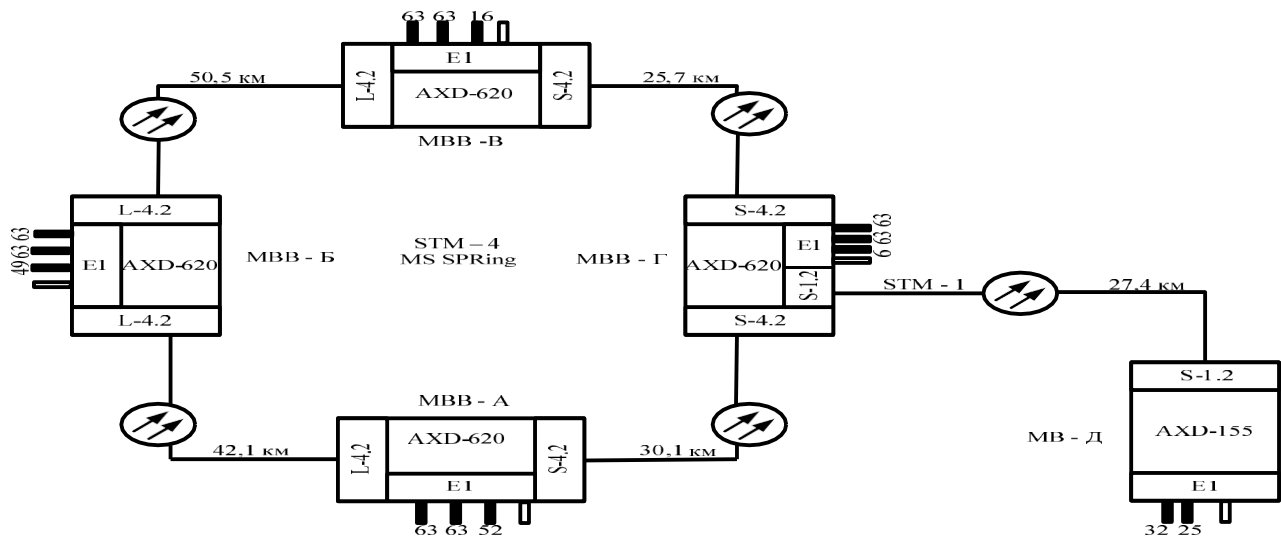


Рисунок 3.4.1 – Схема організації зв'язку

На схемі організації зв'язку в кільці використані трибутивні модулі 63×2 Мбіт/с, а на відгалуженні в пункті D – 32×2 Мбіт/с. Для підвищення надійності передбачено резервування трибутивних модулів. Метод резервування $N : 1$ (на N робочих модулів є один резервний). На схемі організації зв'язку (рис. 1.9.1) робочі трибутивні модулі – чорні, а резервні – білі. При пошкодженні будь-якого робочого модуля здійснюється переключення на резервний. Кількість виділених ПЦП в MBB-A дорівнює $63 \times 2 + 52 = 178$ E1, в MBB-B – $63 \times 2 + 49 = 175$ E1, в MBB-B – $63 \times 2 + 16 = 142$ E1, в MBB-G – $63 \times 2 + 6 = 132$ E1, в MBB-D – $32 + 25 = 57$ E1, що відповідає завданню.

Слід відзначити, що з STM-1, STM-4 можна виділяти (вводити) потоки E1, E3, E4, S1.

Параметри інтерфейсу G.703 наведено в Д. 3, де є фізичні й електричні характеристики потоків E1, E3, E4, S1.

Висновки до розділу 3

В даному розділі ми розглянули принципи побудови транспортної мережі види захисту та резервування потоків передачі даних при різних сценаріях пошкодження інформаційного тракту будь-то механічні пошкодження лінії передачі або відмовлення мультиплексуєного обладнання для цього ми застосовуємо резервні волокна які ми зарезервували за допомогою

відповідних протоколів захисту інформації в свою чергу це забезпечує нам стійкість транспортного потоку корисної інформації що в свою чергу забезпечує роботу нашого обладнання та доставку інформації до кінцевого користувача.

ВИСНОВКИ

У дипломній роботі було всебічно розглянуто та проаналізовано сучасні системи передачі даних, що є фундаментом для функціонування будь-якої інформаційної інфраструктури. Виконане дослідження дозволило глибоко зануритися в принципи їх побудови, функціонування та розвитку.

Технологія NG-SDH це є не є окремим класом систем передачі, а лише допускає використання обладнання SDH, яке функціонує згідно нових рекомендацій ITU. Замінюючи фіксовані канали ієрархії PDH віртуальними коридорами різної пропускної здатності. Для можливості транспортування пакетного трафіка відповідне обладнання має трибутарні інтерфейси Ethernet. Через невисоку пропускну здатність систем NG-SDH, їх доцільно використовувати в наступних випадках:

Використання NGSDH в першу чергу в контексті поступового переходу від класичної SDH до NG-SDH, шляхом модернізації вже існуючих транспортних мереж.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Телекомунікаційні системи та мережі наступного покоління: конспект лекцій. Модуль 5.2 / Педяш В.В. – Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2017.
2. <https://uk.wikipedia.org/wiki/E1/>
3. https://studopedia.su/8_220_tsifrovi-iierarhii-SDH.htm
4. https://elib.lntu.edu.ua/sites/default/files/elib_upload.html
5. Оптична транспортна мережа Видавець Ciena 7035 Ridge Rd. Hanover, MD 2107
6. Стеклов В.К., Беркман Л.Н. Телекомунікаційні мережі. Київ: „Техніка”, 2001
7. Хмелев К.Ф. Основи SDH. Київ: «Політехніка» ЗАТ «Віпол», 2003
8. Бирюков Н.Л. Стеклов В.К. Транспортні мережі та системи електро-зв’язку. Системи мультиплексування. Київ: ЗАТ «Віпол», 2003
9. Каток В.Б. Волоконно-оптичні системи передачі. Київ, 1999
10. Telecommunications Engineer's Reference Book 1993, Pages 41-1, 41-3-41-20
11. ITU-T Rec. G.8110.1/Y.1370.1 Amendment 1 (10/2020) Architecture of the Multi-Protocol Label Switching transport profile layer network Amendment 1
12. Слепов Н.Н. Синхронні цифрові мережі SDH ЭКО-ТРЕНДЗ
13. О.В. Красько Національний університет —Львівська політехніка|| ОЦІНКА ПАРАМЕТРІВ МЕРЕЖІ НА ЕТАПІ ПРОЕКТУВАННЯ ОПТИЧНОЇ ТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМИ © Красько О.В., 2013
14. Поповський В.В, Лемешко О.В.; Ковальчук В.К.; Плотніков М.Д.; Картушин Ю.П.; Попонін О.М.; Агєєв Д.В.; Сабурова С.О., Олійник В.Ф., Персіков А.В.; Лошаков В.А. Селіванов К.О. Телекомунікаційні системи та мережі. Структура й основні функції. Том 1
15. Understanding MPLS-TP and Its Benefits Cisc
16. EBU – TECH 3319 The WAN Roadmap: The use of WANs to carry audiovisual content Source: N/WAN Status: Report Geneva November 2007
17. Оліфер В., Оліфер Н.Комп’ютерні мережі. Принципи, технології, протоколи: 5 видання