

**ФАКУЛЬТЕТ ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧИХ СИСТЕМ
ТА ТЕХНОЛОГІЙ**

Кафедра транспортного зв'язку

**ПРОЕКТУВАННЯ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОЇ
МЕРЕЖІ ЗВ'ЯЗКУ НА ОСНОВІ ОБЛАДНАННЯ
СИНХРОННОЇ ЦИФРОВОЇ ІЄРАРХІЇ**

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

**до курсового проектування та виконання
кваліфікаційних робіт з дисциплін
*«БАГАТОКАНАЛЬНІ СИСТЕМИ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ»,
«ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ СИСТЕМИ ПЕРЕДАЧІ»,
«ЦИФРОВІ СИСТЕМИ ПЕРЕДАЧІ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ
ТРАНСПОРТІ»***

Харків – 2019

Методичні вказівки розглянуто і рекомендовано до

друку на засіданні кафедри транспортного зв'язку 7 листопада 2019 р., протокол № 4.

У методичних вказівках викладено основні питання, що розглядаються в рамках навчальних дисциплін «Багатоканальні системи передачі інформації», «Телекомунікаційні системи передачі» та «Цифрові системи передачі на залізничному транспорті» і які необхідно вирішити при курсовому проектуванні телекомунікаційної мережі зв'язку на основі обладнання синхронної цифрової ієрархії. Методичні вказівки також можуть бути використані під час самостійної підготовки, виконання кваліфікаційних робіт, а також при викладенні певних розділів інших дисциплін відповідно до навчальних програм. Рекомендуються для студентів усіх форм навчання факультету ІКСТ з освітніх програм «Телекомунікації та радіотехніка», «Інфокомунікації та інженерія» і «Мережеві технології та комп'ютерна техніка».

Укладачі:

проф. С. І. Приходько,
доценти О. С. Жученко,
В. П. Лисечко,
К. А. Трубчанінова

Рецензент

доц. С. І. Доценко

ПРОЕКТУВАННЯ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОЇ
МЕРЕЖІ ЗВ'ЯЗКУ НА ОСНОВІ ОБЛАДНАННЯ
СИНХРОННОЇ ЦИФРОВОЇ ІЄРАРХІЇ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до курсового проектування та виконання кваліфікаційних робіт з
дисциплін

*«БАГАТОКАНАЛЬНІ СИСТЕМИ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ»,
«ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ СИСТЕМИ ПЕРЕДАЧІ»,
«ЦИФРОВІ СИСТЕМИ ПЕРЕДАЧІ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ
ТРАНСПОРТІ»*

Відповідальний за випуск Трубчанінова К. А.

Редактори Ібрагімова Н. В., Третякова К. А.

Підписано до друку 22.11.19 р.

Формат паперу 60x84 1/16. Папір писальний.

Умовн.-друк. арк. 5,75. Тираж 50. Замовлення №

Видавець та виготовлювач Український державний університет
залізничного транспорту,
61050, Харків-50, майдан Фейербаха, 7.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 6100 від 21.03.2018 р.

ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 Склад курсового проекту. Завдання та вихідні дані на курсовий проект.....	5
1.1 Склад курсового проекту.....	5
1.2 Завдання та вихідні дані на курсовий проект.....	6
2 Вибір топології проекрованої телекомунікаційної мережі зв'язку.....	7
2.1 Синтез кільцевої топології проекрованої мережі з мінімальною сумарною довжиною ребер.....	10
2.2 Вибір топології проекрованої мережі на основі аналізу кількості цифрових потоків, що проходять по кожному з сегментів мережі.....	18
3 Розрахунок довжини ділянок регенерації та кількості регенераторів.....	24
3.1 Рекомендації з вибору типу оптичного волокна.....	24
3.2 Рекомендації з розрахунку довжини ділянок регенерації та кількості регенераторів.....	26
4 Синхронізація проекрованої телекомунікаційної мережі зв'язку.....	31
4.1 Синхронізація мережі SDH з лінійною топологією.....	36
4.2 Синхронізація мережі SDH з кільцевою топологією.....	39
4.3 Синхронізація чарункової мережі SDH.....	42
5 Розрахунок обсягу обладнання вузла проекрованої телекомунікаційної мережі зв'язку.....	44
5.1 Призначення й основні технічні характеристики мультиплексора SMA1664.....	44
5.2 Склад обладнання мультиплексора SMA1664.....	49
5.3 Приклади типових конфігурацій мультиплексора SMA1664.....	60
6 Розрахунок показників надійності лінійного тракту.....	67
Список літератури.....	77
Додаток А. Варіанти завдань для курсового проектування.....	78
Додаток Б. Типові параметри оптичних волокон.....	93
Додаток В. Параметри оптичних інтерфейсів обладнання SDH.....	94

ВСТУП

Сучасний рівень техніки зв'язку й нових мережних технологій вимагає організації на залізничному транспорті цифрових мереж зв'язку з використанням волоконно-оптичних ліній зв'язку (ВОЛЗ). Велика пропускна спроможність, довжина регенераційних ділянок, нечутливість до електромагнітних впливів, великі будівельні довжини визначили високі темпи впровадження ВОЛЗ.

Сьогодні найпоширенішою технологією для побудови телекомунікаційних мереж на основі ВОЛЗ є технологія SDH, тому що вона дозволяє будувати мережі з високими показниками надійності, малим часом відновлення й великими можливостями з резервування. Немаловажним є й те, що мережі SDH можуть бути використані для організації транспортного рівня мультисервісних мереж на основі технологій пакетної комутації, наприклад ATM або Ethernet, які дозволяють передавати різномірний трафік.

Це у свою чергу вимагає опрацювання питань будівництва волоконно-оптичних ліній зв'язку; впровадження систем передачі синхронної цифрової ієрархії SDH, впровадження пакетних технологій передачі; побудови мереж передачі даних, що відповідають міжнародним стандартам.

Метою курсового проекту є узагальнення теоретичних знань з дисциплін «Багатоканальні системи передачі інформації», «Телекомунікаційні системи передачі» та «Цифрові системи передачі на залізничному транспорті» і набуття практичних навичок у проектуванні телекомунікаційних мереж на основі обладнання синхронної цифрової ієрархії. Також дані методичні вказівки можуть бути використані при виконанні кваліфікаційних робіт.

1 СКЛАД КУРСОВОГО ПРОЕКТУ. ЗАВДАННЯ ТА ВИХІДНІ ДАНІ НА КУРСОВИЙ ПРОЕКТ

1.1 Склад курсового проекту

Курсовий проект повинен складатися з пояснювальної записки й графічної частини. При оформленні пояснювальної записки треба користуватися методичним посібником з додержання вимог нормоконтролю у студентській навчальній звітності [1].

Текстова частина пояснювальної записки складається з титульного аркуша, завдання на курсове проектування, змісту, вступу та змістових розділів, висновків, переліку використаних джерел і, в разі потреби, додатків. У вступі необхідно зазначити актуальність теми курсового проектування, а у висновках – навести основні отримані результати і зробити висновок про досягнення мети курсового проектування.

У змістових розділах пояснювальної записки мають бути розглянуті такі питання:

1 Вибір топології проектованої телекомунікаційної мережі, визначення кількості мультиплексорів і їхнього рівня.

2 Розрахунок довжини ділянок регенерації та кількості регенераторів. Складання схеми проектованої мережі.

3 Розроблення схеми розподілу джерел сигналів тактової синхронізації.

4 Розрахунок обсягу обладнання вузла мережі та розміщення знімних блоків у касеті статива.

5 Розрахунок показників надійності лінійного тракту.

Обсяг пояснювальної записки (шрифт Times New Roman, інтервал 1,5) 25 – 35 аркушів, причому обсяг вступу та висновків не повинен перевищувати 1 аркуш.

Склад графічної частини курсового проекту:

1 Схема проектованої телекомунікаційної мережі.

2 Схема розподілу джерел сигналів тактової синхронізації при нормальному режимі роботи.

3 Схеми розподілу джерел сигналів тактової синхронізації при відмові джерела тактових сигналів, вузла та обриві лінії зв'язку.

4 Схема розміщення знімних блоків у касеті статива.

1.2 Завдання та вихідні дані на курсовий проект

Проектована телекомунікаційна мережа зв'язку має бути побудована з використанням волоконно-оптичного кабелю на базі обладнання синхронної цифрової ієрархії (SDH) рівнів STM-1, STM-4 чи STM-16 і повинна забезпечувати:

- виділення первинних цифрових потоків 2,048 Мбіт/с у кожному вузлі;
- можливість наскрізної передачі трафіка Ethernet/Fast Ethernet/Gigabit Ethernet між двома віддаленими пристроями;
- можливість подальшого розвитку за рахунок переходу до вищого рівня мультиплексування SDH чи використання технології спектрального ущільнення DWDM;
- резервування трактів на рівні VC-12 – SNCP (Sub-Network Connection Protection – захист з'єднання підмережі) за схемою 1+1 чи резервування мультиплексорних секцій MSP (Multiplex Section Protection) за схемою 1+1 залежно від топології мережі;
- резервування найбільш важливих блоків обладнання вузла;
- два дублюючих джерела сигналів тактової синхронізації: первинне (G.811) і вторинне (G.812);
- два альтернативних шляхи передавання сигналів тактової синхронізації до кожного вузла проектованої мережі.

Вибір архітектури проектованої телекомунікаційної мережі зв'язку має здійснюватися на основі типових топологічних рішень чи їхніх комбінацій для окремих сегментів мережі й мережі в цілому. При проектуванні треба орієнтуватися в основному на застосування сегментів мережі з кільцевою топологією для забезпечення необхідного рівня резервування і, як виняток при додатковому обґрунтуванні, застосування сегментів мережі з лінійною топологією.

При розробленні схем розподілу джерел сигналів тактової синхронізації проектованої мережі зв'язку при відмові джерела тактових сигналів, вузла та обриві лінії зв'язку місця пошкоджень вибирати самостійно.

При розрахунку обсягу обладнання вузла проектованої телекомунікаційної мережі зв'язку вибір вузла здійснювати самостійно.

Розрахунок показників надійності проводити тільки для одного лінійного тракту для двох випадків – без резервування та з резервуванням по рознесених трактах за схемою 1+1. Вибір лінійного тракту для розрахунку показників надійності здійснюється самостійно.

Варіанти завдань для курсового проектування наведені в додатку А.

2 ВИБІР ТОПОЛОГІЇ ПРОЕКТОВАНОЇ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОЇ МЕРЕЖІ ЗВ'ЯЗКУ

Незважаючи на те, що найбільш характерною топологією мереж SDH є кільцева топологія (рисунок 2.1), при значній відмінності кількості введених і виведених цифрових потоків у вузлах мережі використання такої топології не завжди виправдано, тому що призводить до завищення необхідної кількості каналів, які циркулюють по кільцю, і, як наслідок, необхідності використання SDH мультиплексорів введення/виведення більш високого рівня.

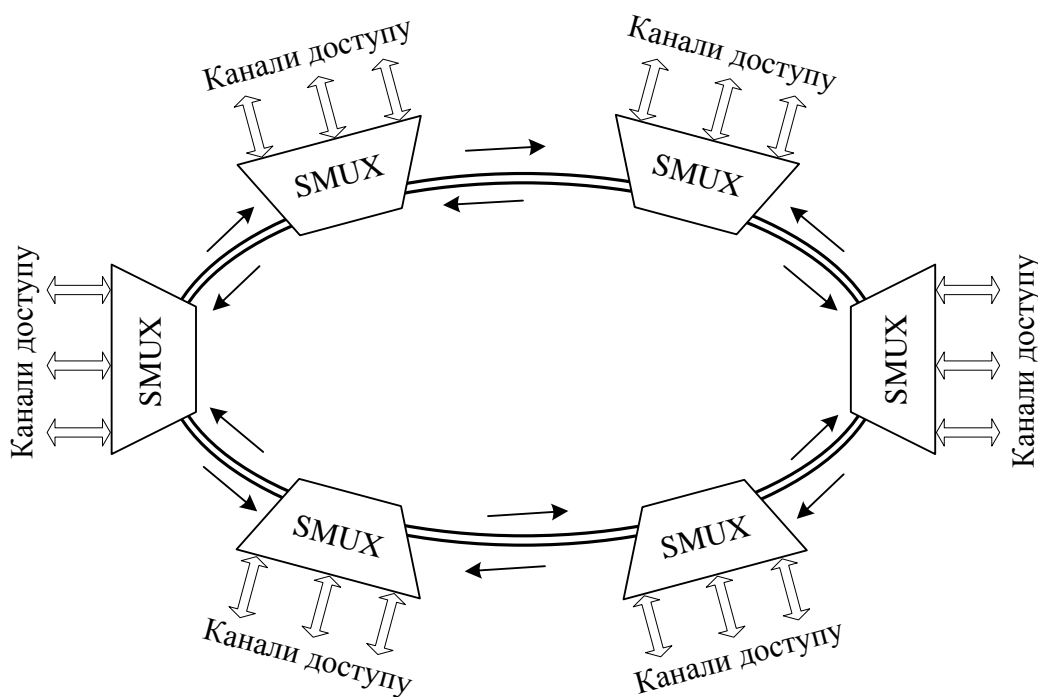


Рисунок 2.1 – Топологія «кільце»

У цьому випадку може виявитися, що доцільніше застосовувати мережі з чарунковою структурою, засновані на топологіях «точка-точка», «послідовний лінійний ланцюг» або «зірка» (рисунки 2.2-2.5), тим більше, що сучасні мультиплексори дозволяють використовувати останню топологію з досить великою кількістю променів за рахунок застосування більш гнучких схем крос-комутації в центральному вузлі. Один з варіантів чарункової топології показаний на рисунку 2.6.

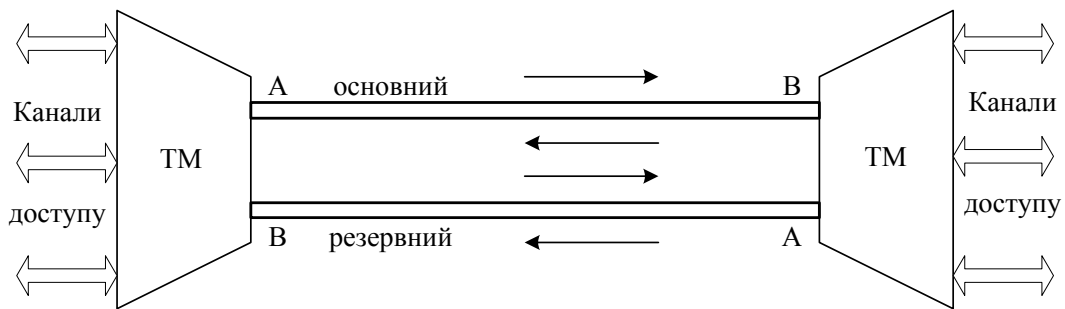


Рисунок 2.2 – Топологія «точка-точка»

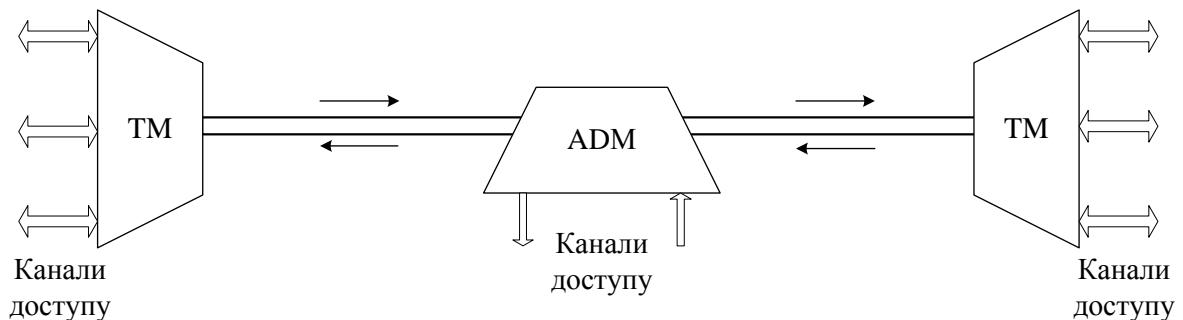


Рисунок 2.3 – Топологія «послідовний лінійний ланцюг» без резервування

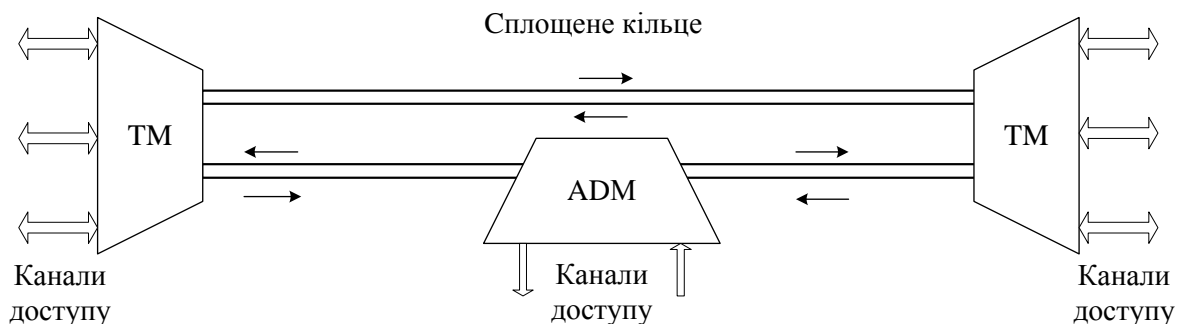


Рисунок 2.4 – Топологія «послідовний лінійний ланцюг» з резервуванням

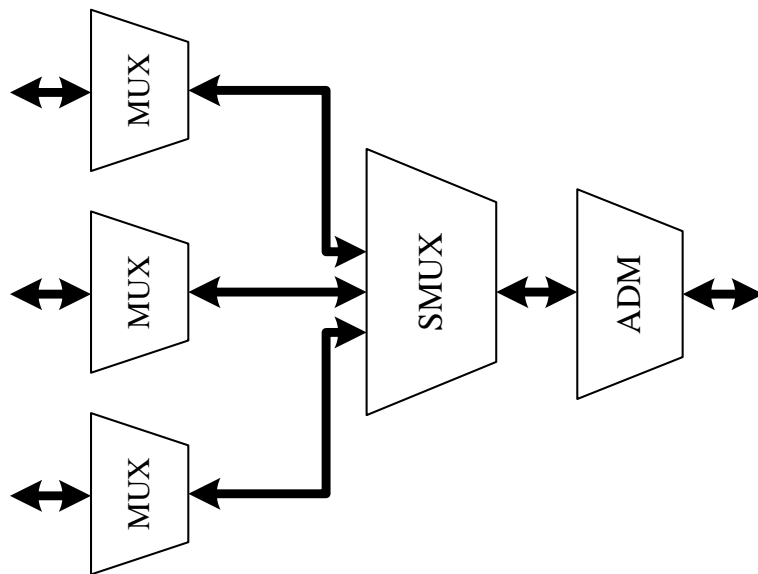


Рисунок 2.5 – Топологія «зірка» з мультиплексором SMUX в ролі концентратора

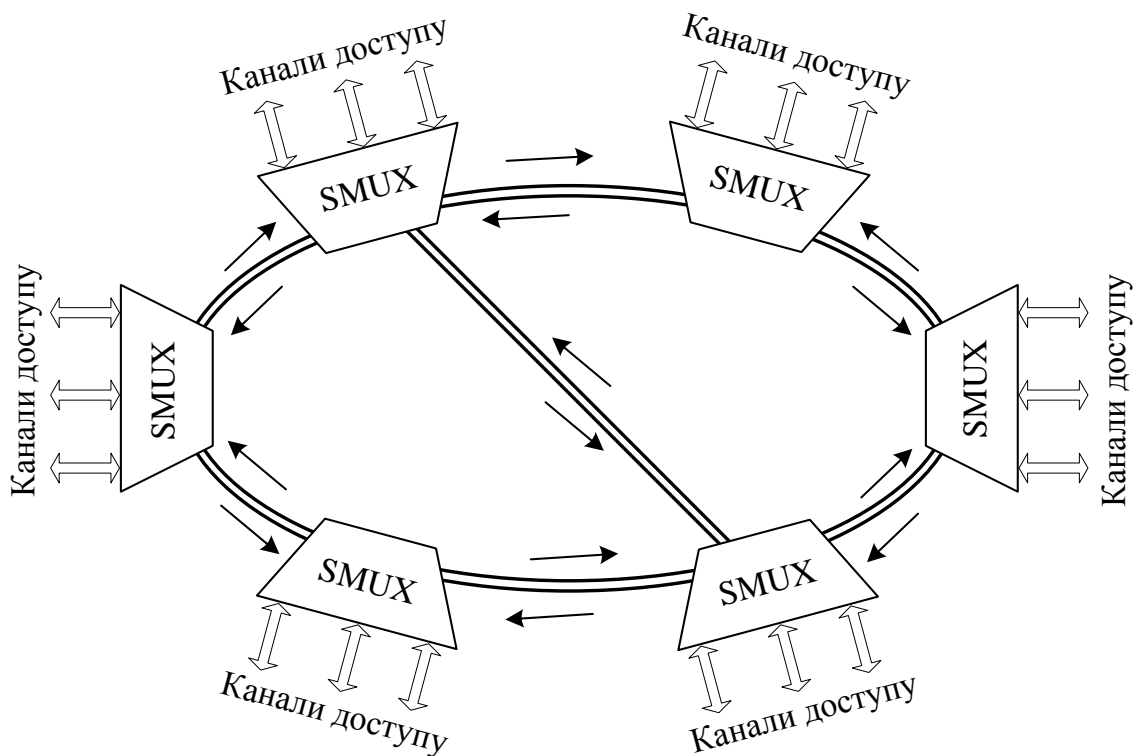


Рисунок 2.6 – Варіант чарункової топології

Так само істотним фактором при виборі топології проєктованої мережі може бути взаємне розташування вузлів мережі, можливість прокладання кабелю у вже існуючій кабельній каналізації і т. д.

Крім того, незалежно від обраної топології має бути проведена оптимізація структури мережі за критерієм мінімальної довжини оптичного кабелю.

Таким чином, вибір топології проекрованої мережі є досить складним завданням, повне вирішення якого виходить за рамки курсового проектування. Тому з метою спрощення при курсовому проектуванні вибір топології мережі будемо здійснювати при послідовному вирішенні таких завдань:

1 Синтез кільцевої топології проекрованої мережі з мінімальною сумарною довжиною ребер (сегментів).

2 Перетворення (за необхідності) кільцевої топології мережі в радіально-кільцеву або чарункову топологію на основі аналізу кількості цифрових потоків, що проходять по кожному з сегментів мережі та їхньої довжини.

2.1 Синтез кільцевої топології проекрованої мережі з мінімальною сумарною довжиною ребер

На основі заданих значень відстаней між кожним з вузлів мережі, які зведено в таблицю 2.1, будується повнозв'язна (чарункова) топологія (рисунок 2.7). Відстані в таблиці 2.1 наведено в кілометрах. Вузли на рисунку 2.7 позначено відповідно до таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Відстань між вузлами проекрованої мережі

Вузол мережі	A	B	C	D	E	F
A	–	90	150	210	234	270
B	90	–	204	126	252	240
C	150	204	–	246	120	222
D	210	126	246	–	216	126
E	234	252	120	216	–	132
F	270	240	222	126	132	–

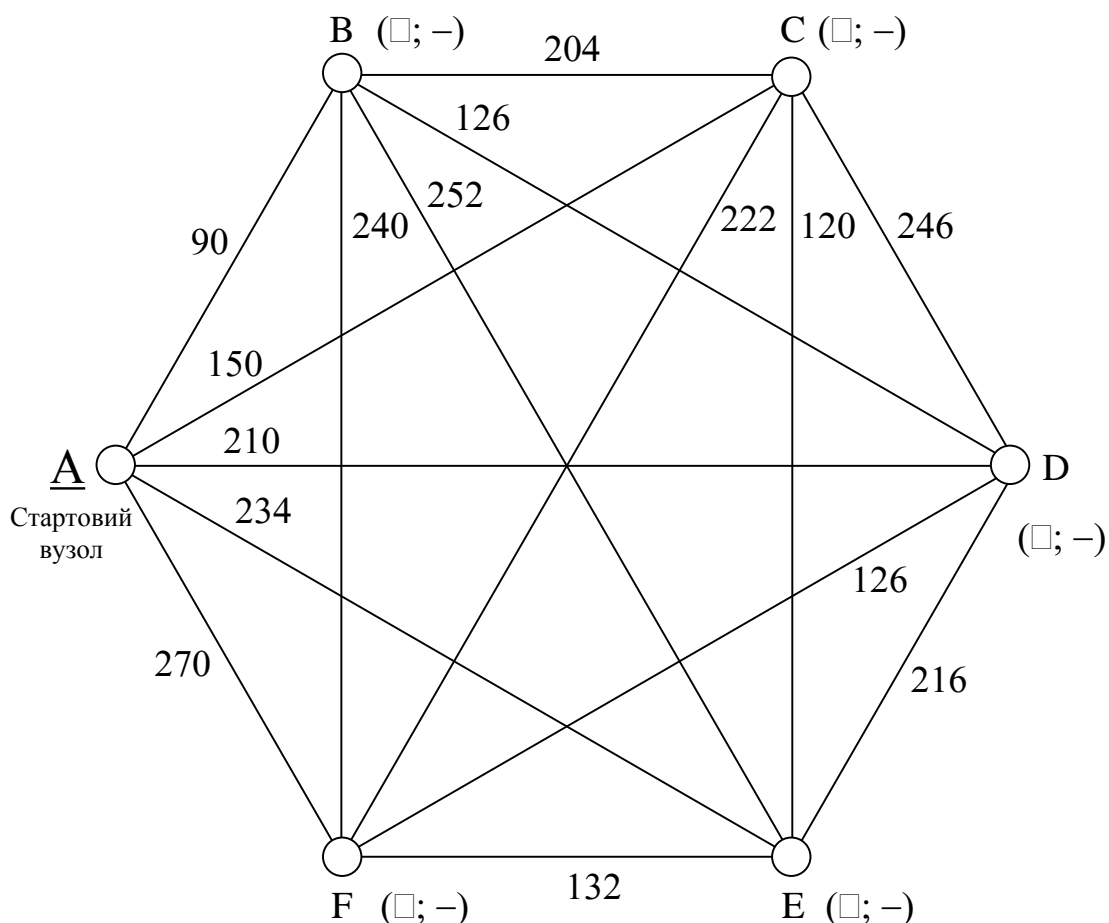


Рисунок 2.7 – Повнозв’язна (чарункова) топологія

Далі здійснюється перетворення повнозв’язної топології, що показана на рисунку 2.7, на кільцеву топологію таким чином, щоб сума відстаней між вузлами отриманої кільцевої топології була мінімальною з усіх можливих варіантів кільцевих топологій, які можуть бути виділені як складова частина чарункової топології.

Перетворення здійснюється за алгоритмом Дейкстри, що застосовується для знаходження шляху з мінімальною сумарною вагою в графі з від’ємними вагами.

У загальному випадку алгоритм Дейкстри складається з таких кроків.

1 Маркуємо всі вузли, крім стартового, парою значень, що складається з відстані до даного вузла (спочатку « ∞ ») та імені вузла підходу (спочатку «-»), як показано на рисунку 2.7 (стартовим вузлом обрано вузол А). Вузол підходу – це найближчий сусідній вузол, від якого здійснюється безпосередній підхід до вузла, що маркується.

2 Починаючи зі стартового вузла, вибирається вузол з найнижчою сукупною вагою і вважається «фіксованим».

3 Сусідні вузли з «фіксованим» вузлом маркуються сукупною відстанню від стартового вузла та ім'ям вузла підходу.

4 Якщо вузол уже маркований, то його мітка замінюється на нову, сукупна відстань якої менше, ніж існуюча сукупна відстань.

5 Триває маркування вузлів, поки всі вузли не стануть «фіксованими».

Після фіксації всіх вузлів результуюча сукупна вага дозволяє розрахувати найкоротший шлях від вихідного вузла. Це можна зробити, читаючи у зворотному порядку вузли підходу кожного вузла на відповідному шляху.

Для побудови топології «кільце» знаходиться шлях мінімальної сумарної довжини, наприклад з вузла А, далі по кільцю через всі інші вузли (BCDEF для нашого прикладу) і закінчується також у вузлі А. Потім здійснюється побудова варіанта мережі з кільцевою топологією, що відповідає знайденому шляху. Таку процедуру слід проводити послідовно для всіх вузлів мережі. У результаті одержують набір кільцевих топологій з різною сумарною довжиною ліній зв'язку між вузлами.

Остаточне рішення про вибір варіанта мережі з кільцевою топологією приймається після порівняння сумарних відстаней між вузлами мережі й вибору найменшого.

Можливий випадок, коли при виконанні алгоритму Дейкстри відстані між деякими вузлами будуть однаковими. У цьому випадку необхідно розглядати всі можливі варіанти утворення кільцевої топології.

Приклад. Нехай дана таблиця з відстанями між кожним з вузлів проектованої мережі (таблиця 2.1) і повнозв'язна (чарункова) топологія (рисунок 2.7). Синтезуємо кільцеву топологію мережі з мінімальною сумарною довжиною ребер за допомогою алгоритму Дейкстри.

1 Зафіксуємо стартовий вузол А і перемаркуємо всі сусідні з ним вузли з урахуванням відстаней від стартового вузла до кожного з сусідніх вузлів (рисунок 2.8).

2 Вибираємо з вузлів, маркованих на кроці 1, вузол з найменшою відстанню до стартового вузла А – це вузол В з відстанню 90 (рисунок 2.9). Після чого фіксуємо цей вузол.

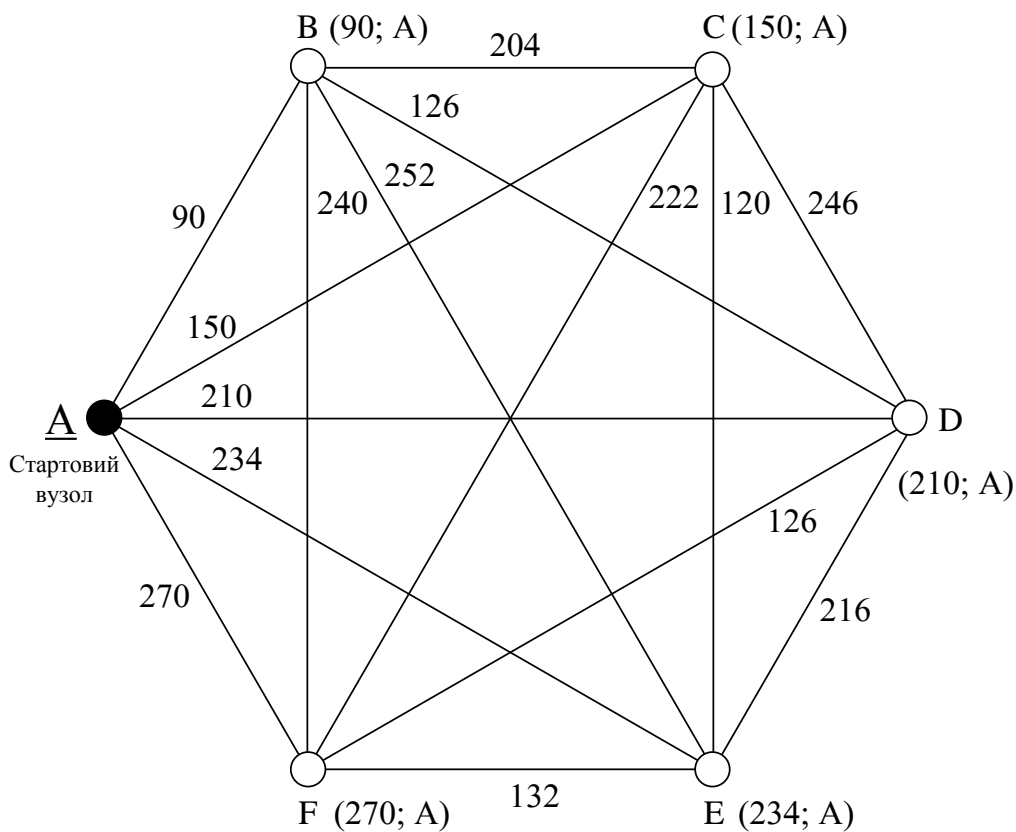


Рисунок 2.8 – Приклад застосування алгоритму Дейкстри (крок перший)

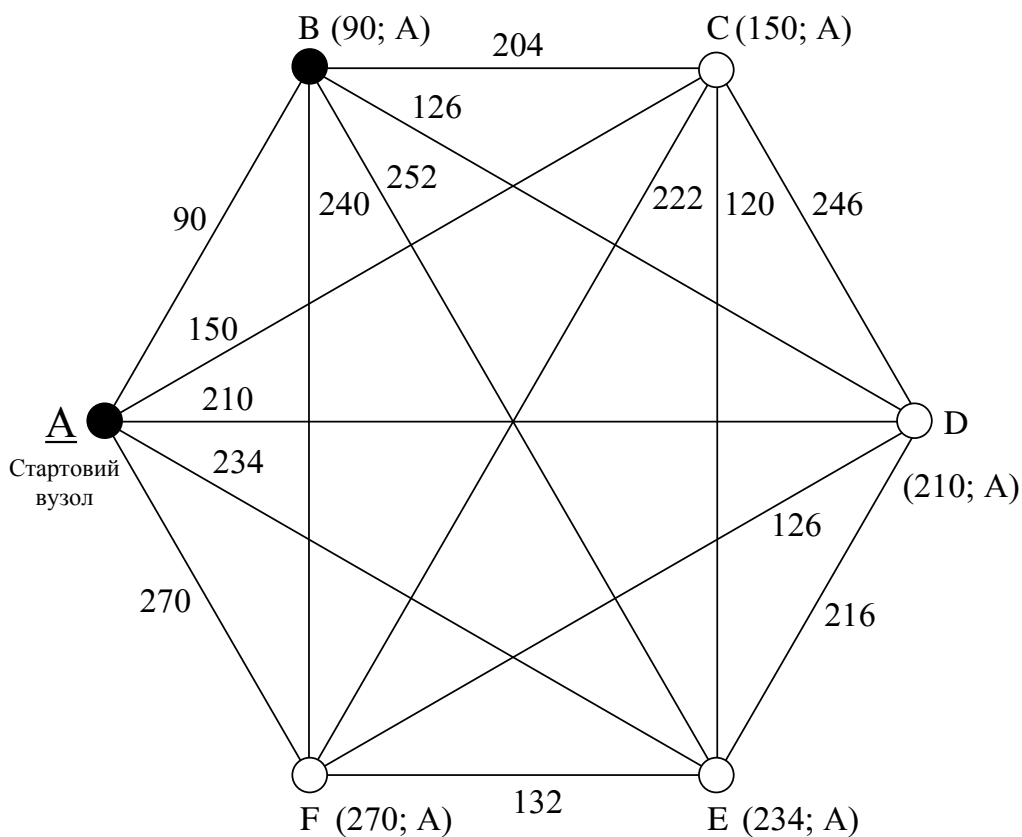


Рисунок 2.9 – Приклад застосування алгоритму Дейкстри (крок другий)

3 Вузол В може бути безпосередньо зв'язаний з вузлами С, D, E, F (вузол А «фіксований», він не враховується). Оскільки ми робимо синтез кільцевої топології, то тепер необхідно визначити найближчий до вузла В вузол з вузлів, які безпосередньо з ним зв'язані (С, D, E або F). Після цього мітку найближчого вузла необхідно замінити на нову.

Для нашого прикладу це вузол D (тому що довжина ребра AD дорівнює 126). Тому мітку вузла D замінюємо на нову – $(90+126; B) = (216; B)$, а цей вузол фіксується. Цей приклад показано на рисунку 2.10.

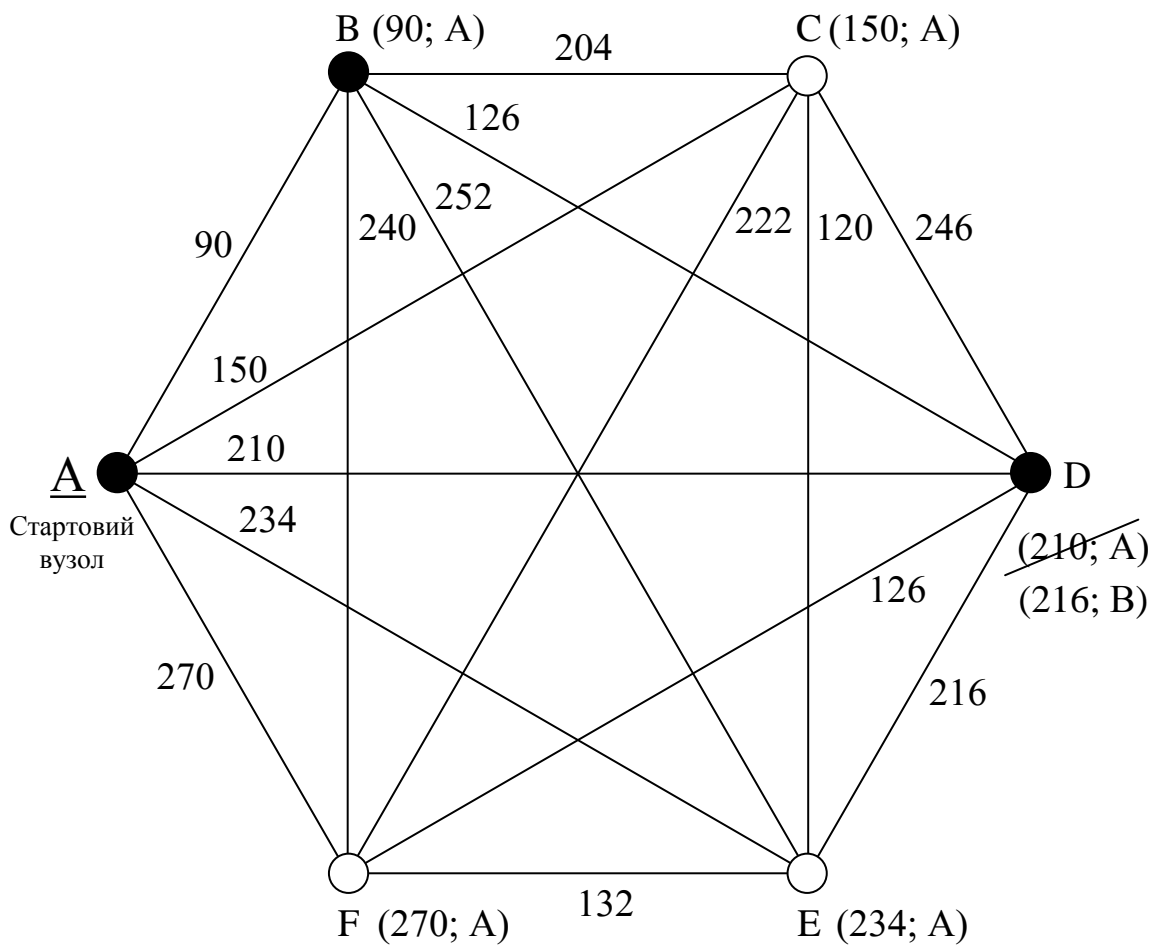


Рисунок 2.10 – Приклад застосування алгоритму Дейкстри (крок третій)

4 Вузол D може бути безпосередньо зв'язаний з вузлами С, E, F (вузли А і В «фіксовані», вони не враховуються). Аналогічно кроку 3 знаходимо найближчий вузол до вузла D з вузлів С, E або F, замінюємо його мітку на нову й фіксуємо

(рисунок 2.11). Для нашого прикладу це вузол F. Його нова мітка – (342; D).

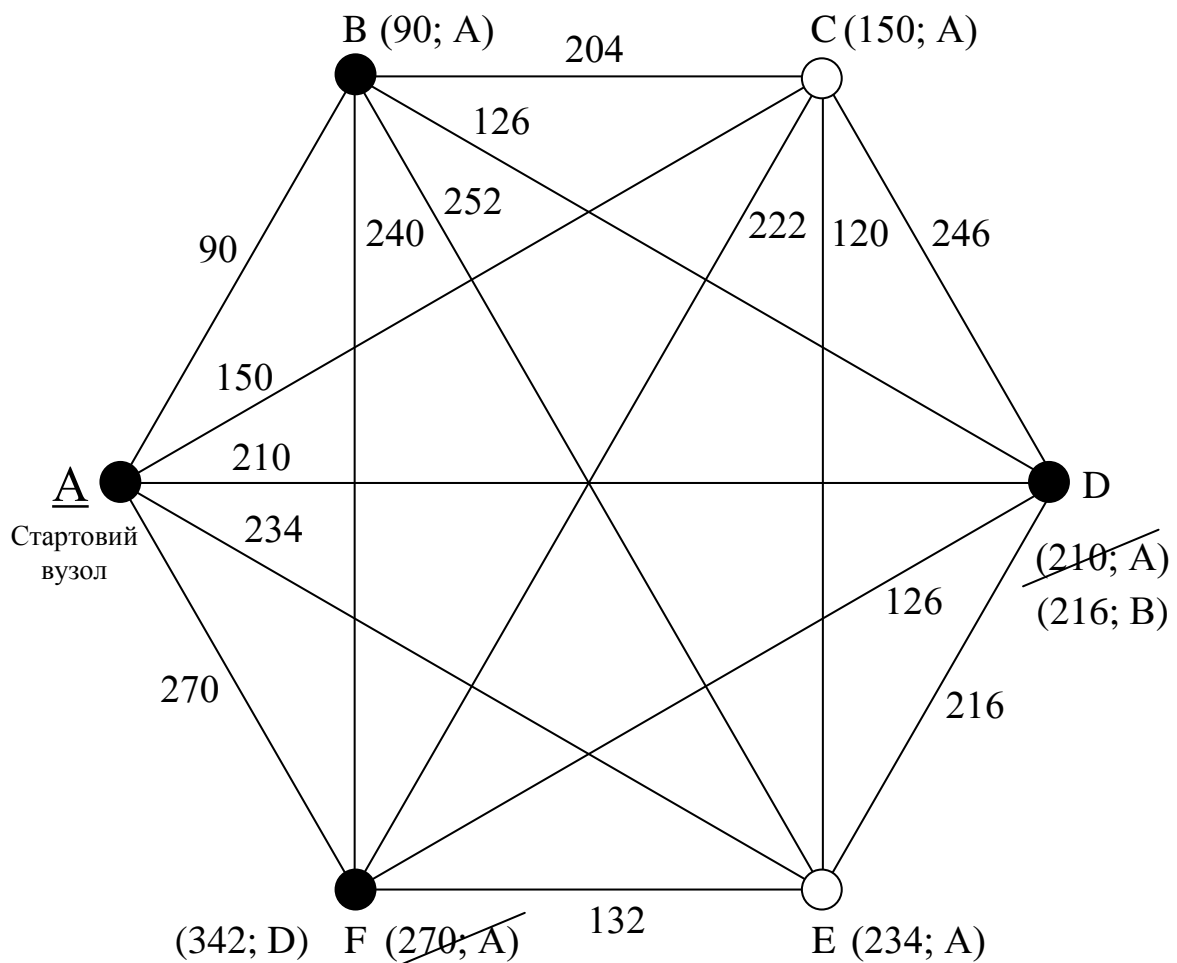


Рисунок 2.11 – Приклад застосування алгоритму Дейкстри (крок четвертий)

5 Цей крок аналогічний попередньому. Найближчим вузлом до вузла F є вузол E. Далі змінюємо його мітку й фіксуємо (рисунок 2.12).

6 Оскільки залишився тільки один незафіксований вузол – C, то вузол E може бути з'єднаний тільки з ним, тому змінюємо мітку вузла C і фіксуємо його (рисунок 2.13).

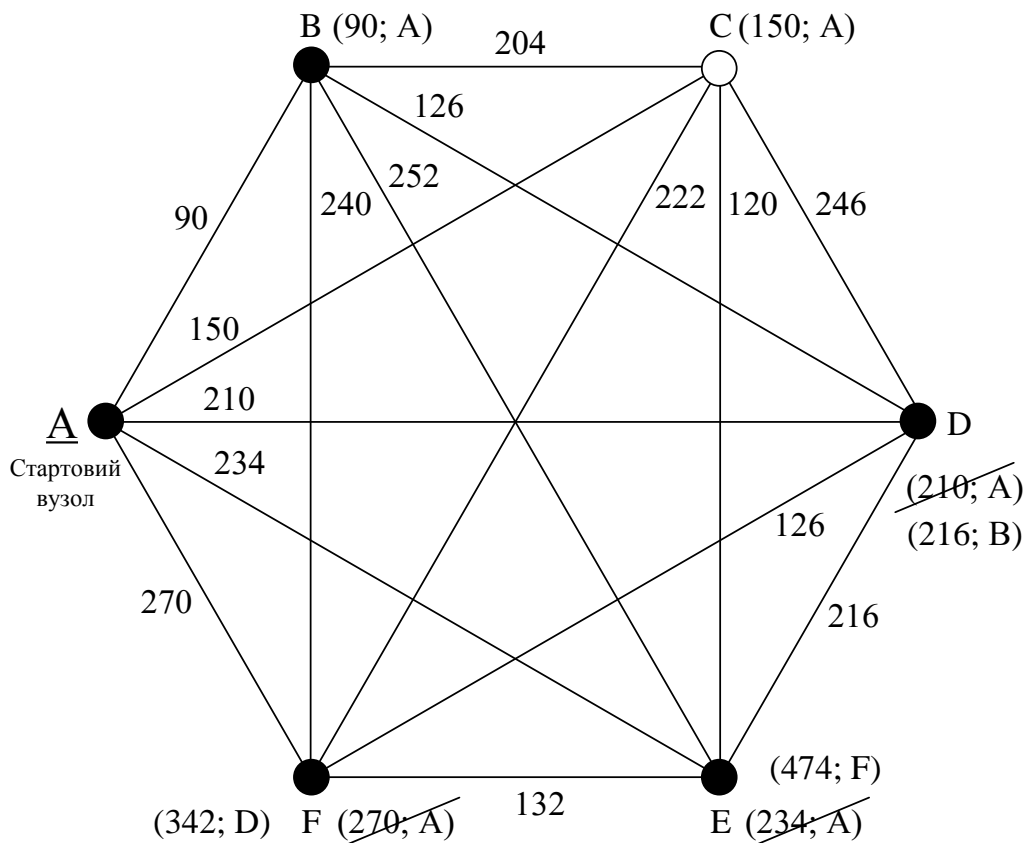


Рисунок 2.12 – Приклад застосування алгоритму Дейкстри (крок п'ятий)

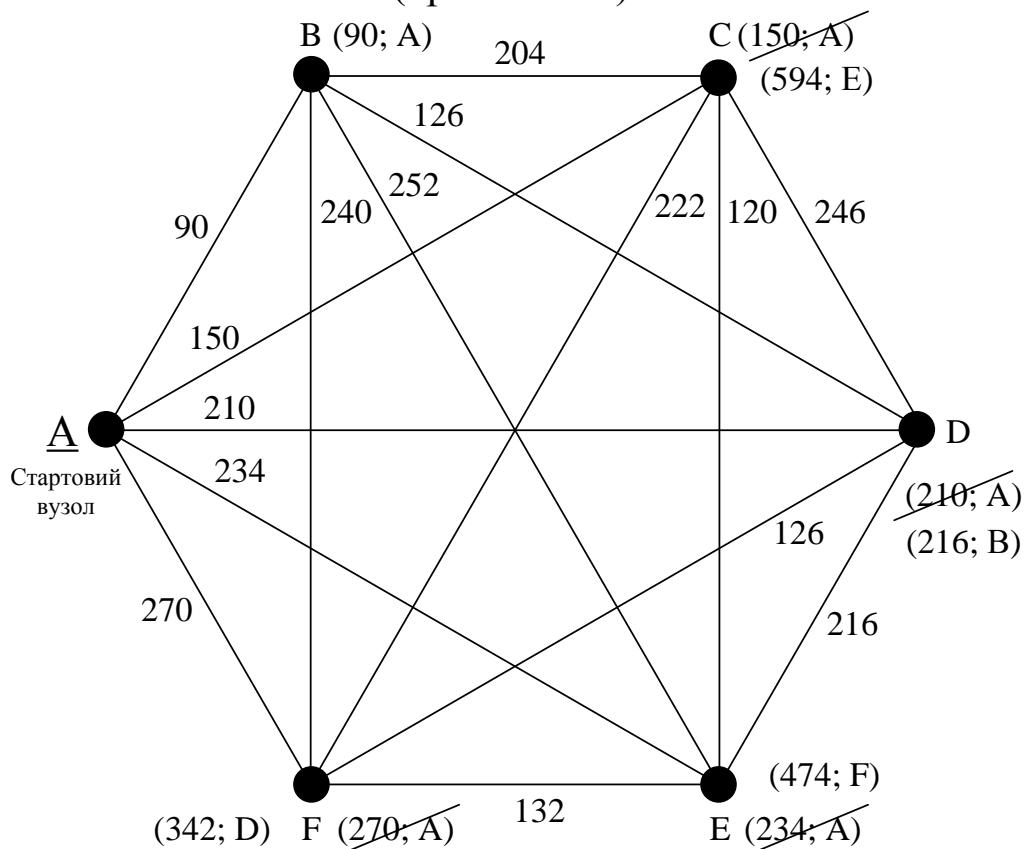


Рисунок 2.13 – Приклад застосування алгоритму Дейкстри (крок шостий)

7 Для формування кільцевої топології тепер необхідно, щоб були безпосередньо зв'язані між собою вузли А і С. Тому міткою вузла А буде (714; С). На цьому кроці синтез варіанта кільцевої топології закінчений. Сумарна відстань між вузлами буде дорівнювати 744 км. Читаючи мітки, що починаються з вузла А у зворотному порядку, ми одержуємо найкоротший маршрут – $A \rightarrow C \rightarrow E \rightarrow F \rightarrow D \rightarrow B \rightarrow A$ (рисунок 2.14).

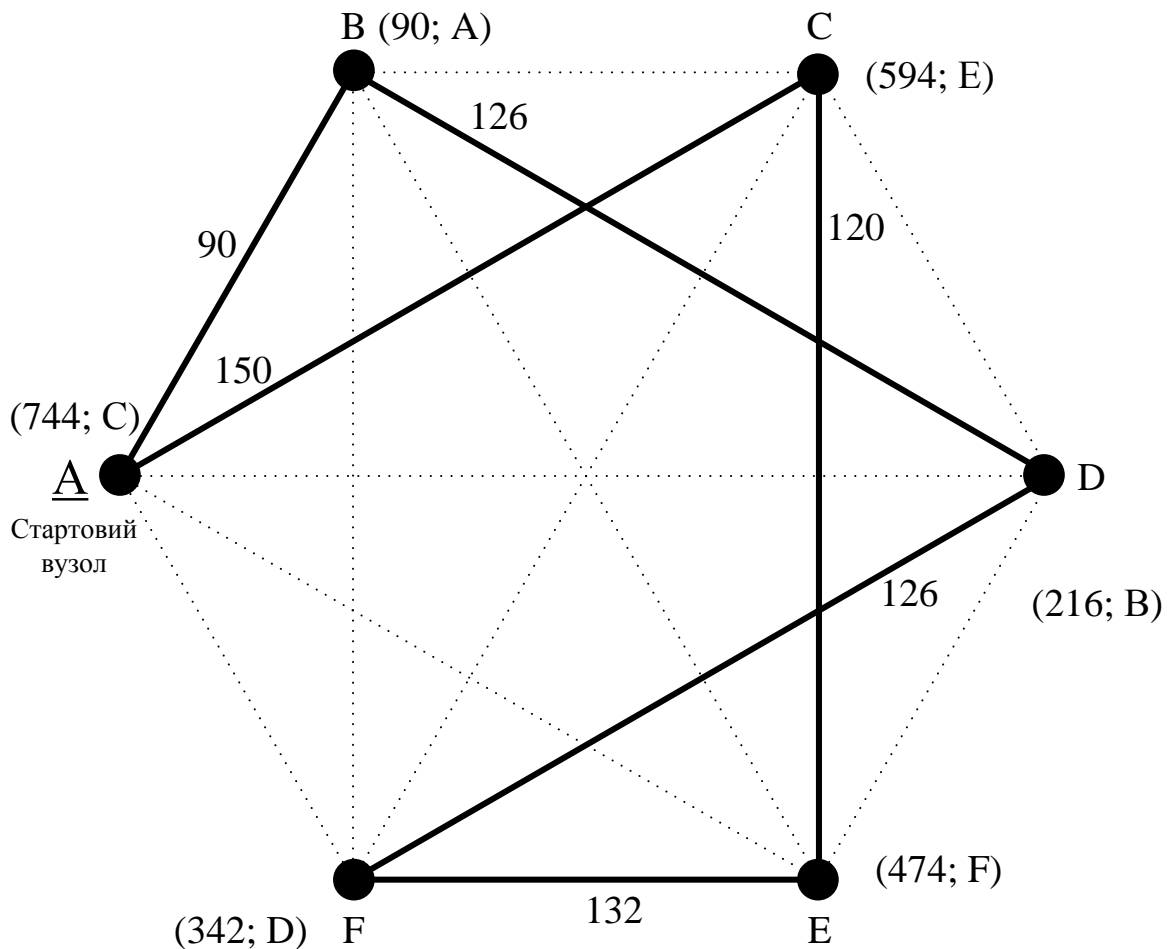


Рисунок 2.14 – Приклад застосування алгоритму Дейкстри (крок сьомий)

Тепер необхідно синтезувати інші варіанти кільцевих топологій. Для цього вибираємо як стартовий вузол вузли В, С, D, Е, F і виконуємо аналогічні дії (кроки 1-7) для кожного зі стартових вузлів.

У результаті одержуємо 7 варіантів кільцевих топологій, з яких необхідно вибрати варіант із мінімальною сумарною довжиною ребер. Для розглянутого прикладу всі варіанти

кільцевих топологій є ідентичними, тому оптимальним, з погляду мінімізації довжини оптичного кабелю, є варіант топології, показаний на рисунку 2.14. Для зручності проведення подальшого аналізу рисунок 2.14 можна перетворити (рисунок 2.15).

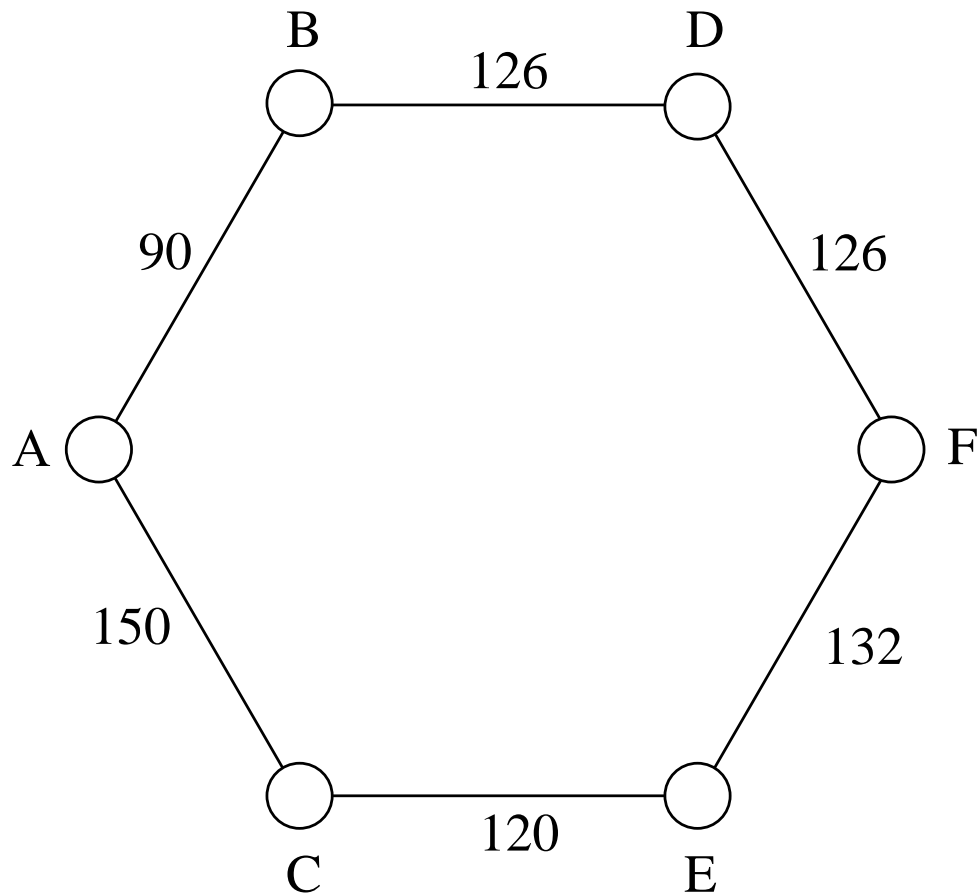


Рисунок 2.15 – Оптимізована мережа з топологією «кільце»

2.2 Вибір топології проектованої мережі на основі аналізу кількості цифрових потоків, що проходять по кожному з сегментів мережі

Для вибору топології проектованої мережі спочатку необхідно визначити кількість введених і виведених цифрових потоків (2 Мбіт/с) для кожного вузла. Це можна зробити на основі аналізу вихідних даних для курсового проектування (таблиця 2.2).

Таблиця 2.2 – Розподіл цифрових потоків за напрямками зв'язку

Вузол	A	B	C	D	E	F
A	–	20	16	24	4	2
B	20	–	30	20	2	4
C	16	30	–	28	2	8
D	24	20	28	–	6	10
E	4	2	2	6	4	6
F	2	4	8	10	6	–
Разом	66	76	84	88	24	30

На основі аналізу таблиці 2.2 можна зробити попередні висновки про доцільність використання тієї або іншої топології мережі й про рівень застосовуваних мультиплексорів у вузлах мережі (остаточний вибір рівня мультиплексорів можливий тільки після розрахунку кількості основних і резервних потоків, що припадають на кожен сегмент мережі, а такий розрахунок можна провести тільки після вибору топології мережі). Для цього розглянемо три варіанти топології: кільцеву, радіально-кільцеву і чарункову.

Кільцева топологія. Об'єднання шести вузлів у кільце вимагає застосування мультиплексорів рівня STM-4 ($4 \times 63 = 252$ первинних цифрових потоки зі швидкістю передачі 2 048 кбіт/с), тому що на мережі є чотири вузли (A, B, C, D) з кількістю введених/виведених цифрових потоків більше 63 (STM-1). Недолік такого рішення полягає в завищенні рівня мультиплексорів у вузлах E та F (за кількістю введених/виведених потоків у цих вузлах достатньо мультиплексорів рівня STM-1). Перевагою такого рішення може бути тільки стовідсоткове резервування всіх, а не тільки необхідних, цифрових потоків.

Радіально-кільцева топологія. Оскільки тільки два вузли мережі (вузли E і F) мають менше 63 первинних цифрових потоків – 24 і 30 відповідно (таблиця 2.2), то кільце повинне мати у своєму складі 4 мультиплексори рівня STM-4 й одну радіальну гілку (якщо вузли E і F зв'язані між собою безпосередньо (рисунком 2.16)) або дві радіальні гілки (якщо вузли E і F підключаються до кільця порізно – E до C, а F до D і не зв'язані між собою безпосередньо).

Радіальні гілки (ділянки) вимагають топології «точка-точка» типу «плоске кільце» або системи захисту типу «1+1». При цьому точка, що контактує з кільцем (рисунок 2.16), або мультиплексор зв'язку мають бути мультиплексором уведення/виведення, а не термінальним мультиплексором, з метою забезпечення перемикавання цифрового потоку з кільцевого маршруту на радіальний.

Тому при першому варіанті рішення буде потрібно чотири мультиплексори рівня STM-4 і три мультиплексори рівня STM-1, а при другому – на один мультиплексор рівня STM-1 більше.

У ряді випадків (наявність вільних слотів для крос-комутатора) у ролі мультиплексора зв'язку може бути мультиплексор кільцевого вузла, що зменшує надійність мережі, але призводить до економії одного (перший варіант) або двох (другий варіант) мультиплексорів зв'язку (рисунки 2.17, 2.18).

Чарункова топологія. Перетворимо отриману в п. 2.1 кільцеву топологію на чарункову шляхом додавання сегмента CD (рисунок 2.19).

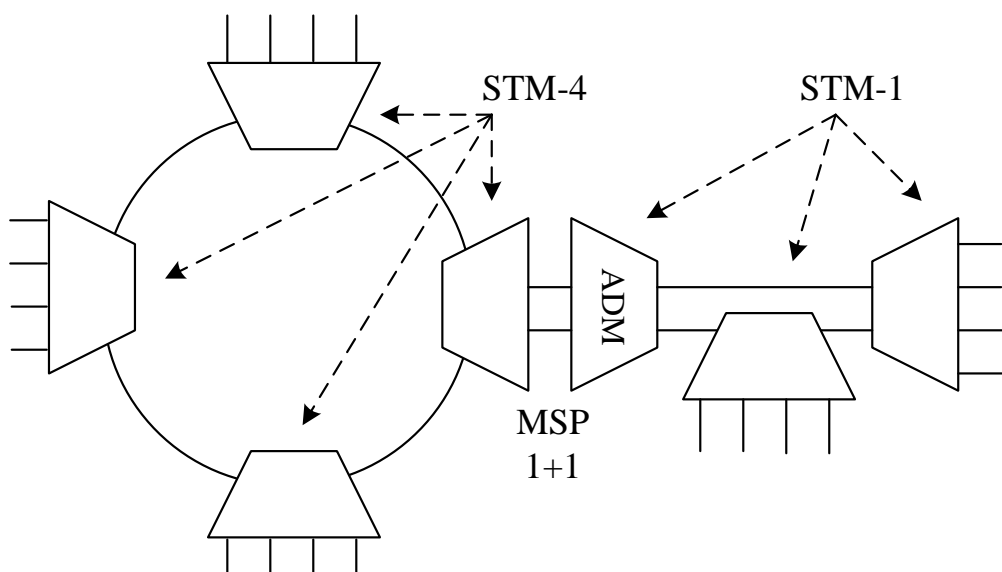


Рисунок 2.16 – Радіально-кільцева топологія з однією гілкою та мультиплексором зв'язку

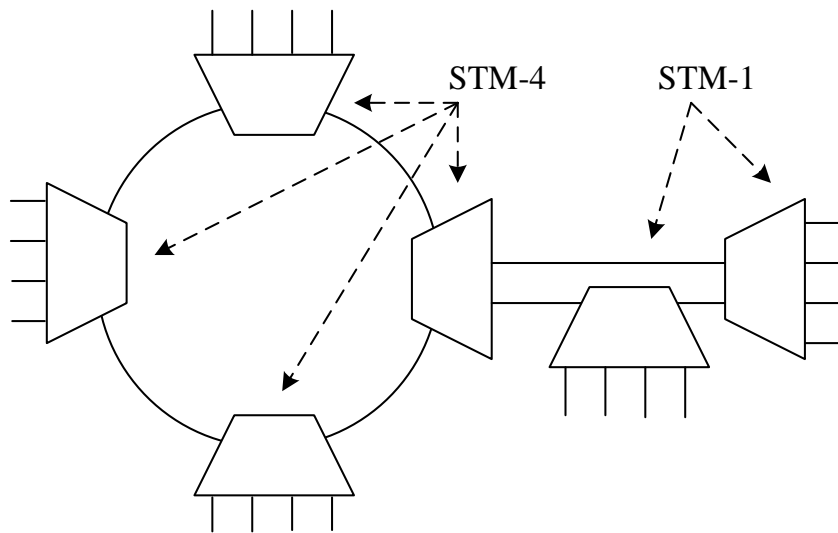


Рисунок 2.17 – Радіально-кільцева топологія з однією гілкою без мультиплексора зв'язку

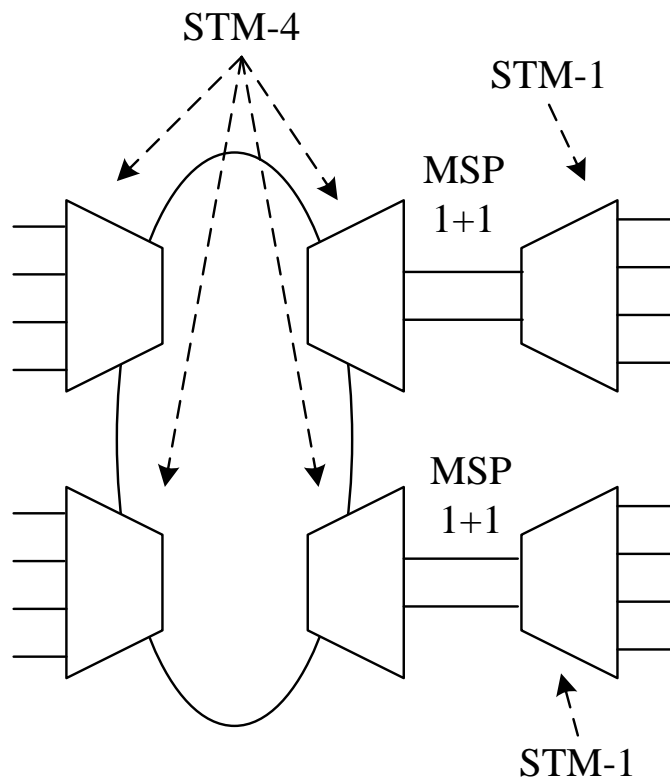


Рисунок 2.18 – Радіально-кільцева топологія з двома гілками без мультиплексора зв'язку

Чарункова мережа складається з двох чарунок і містить шість вузлів з мультиплексорами рівня STM-N. У розглянутому

прикладі у вузлах А, В, С і D мережі знаходяться мультиплексори рівня STM-4, а у вузлах Е і F – рівня STM-1.

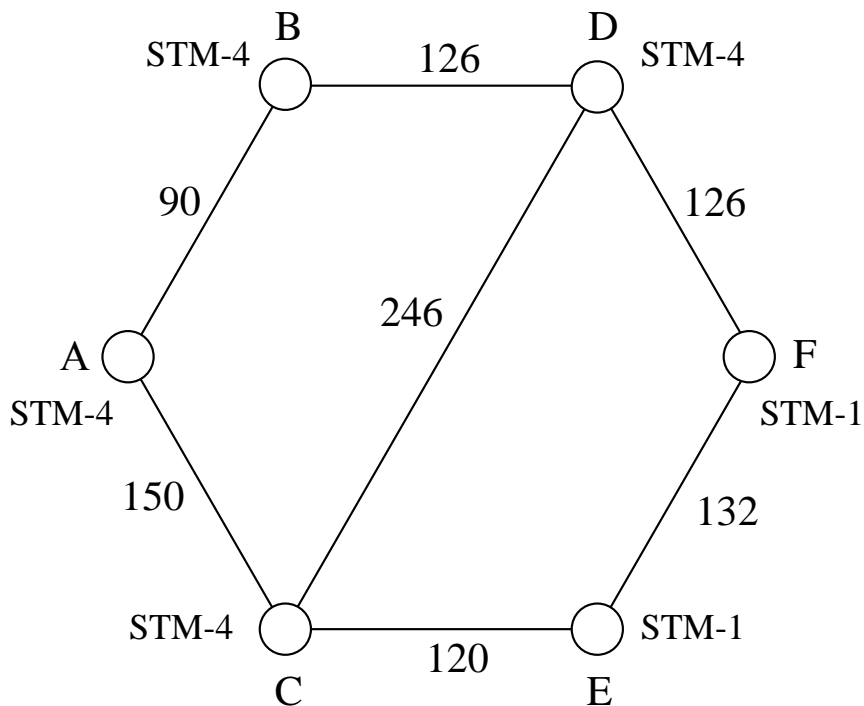


Рисунок 2.19 – Чарункова топологія

Зазначимо, що саме таке розташування мультиплексорів і дозволяє організувати чарунки з різними швидкостями цифрових потоків. У протилежному випадку при курсовому проектуванні будемо застосовувати радіально-кільцеву топологію з мультиплексорами різного рівня або ж виберемо варіант побудови мережі з мультиплексорами одного рівня (кільцева або чарункова топології).

Наведена структура призводить до мінімальної кількості необхідних мультиплексорів різних рівнів при найбільшій надійності. Питання захисту тут вирішуються шляхом направлення цифрових потоків двома непересічними маршрутами зі співзбіжними кінцевими точками мережі, наприклад маршрутами $A \rightarrow B$ і $A \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow B$.

Для розрахунку кількості потоків, що проходять по сегментах шляху, вибираємо основні й резервні шляхи проходження цифрових потоків у проектованій мережі. Обрані шляхи наведені в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Основні й резервні шляхи проходження цифрових потоків

Шлях передавання	Основний шлях	Резервний шлях
AB	A – B	A – C – D – B
AD	A – B – D	A – C – D
AF	A – B – D – F	A – C – E – F
AE	A – C – E	A – B – D – F – E
AC	A – C	A – B – D – C
BD	B – D	B – A – C – D
BF	B – D – F	B – A – C – E – F
BE	B – A – C – E	B – D – F – E
BC	B – A – C	B – D – C
DF	D – F	D – C – E – F
DE	D – F – E	D – C – E
DC	D – C	D – B – A – C
FE	F – E	F – D – C – E
FC	F – E – C	F – D – C
EC	E – C	E – F – D – C

Використовуючи таблицю 2.3, необхідно розрахувати кількість основних і резервних потоків, що проходять по сегментах мережі. Зазначимо, що в структурі мережі, яка розглядається, резервні цифрові потоки проходять маршрутами в межах однієї чарунки.

Розрахунок кількості потоків, що проходять по сегментах шляху, наведений у таблиці 2.4, де введені такі позначення: «X» – основні канали; «P» – резервні канали; «-» – потоки, що не проходять по сегментах мережі.

Отримана таблиця 2.4 підтверджує правильність вибору рівнів мультиплексорів у вузлах мережі. Таким чином, у результаті проведеного аналізу можливих топологій проектованої мережі вибираємо мережу з чарунковою топологією, що показана на рисунку 2.19, тому що вона за мінімальної кількості мультиплексорів (чотири мультиплексори рівня STM-4 і два – рівня STM-1) задовольняє умову з резервування первинних цифрових потоків.

Таблиця 2.4 – Розрахунок кількості потоків, що проходять по сегментах шляху

Шлях передавання	Кількість потоків	Сегмент шляху						
		AB	BD	DC	CA	DF	FE	EC
AB	20	X	P	P	P	–	–	–
AD	24	X	X	P	P	–	–	–
AF	2	X	X	–	P	X	P	P
AE	4	P	P	–	X	P	P	X
AC	16	P	P	P	X	–	–	–
BD	20	P	X	P	P	–	–	–
BF	4	P	X	–	P	X	P	P
BE	2	X	P	–	X	P	P	X
BC	30	X	P	P	X	–	–	–
DF	10	–	–	P	–	X	P	P
DE	6	–	–	P	–	X	X	P
DC	28	P	P	X	P	–	–	–
FE	6	–	–	P	–	P	X	P
FC	8	–	–	P	–	P	X	X
EC	2	–	–	P	–	P	P	X
Разом	основний	78	50	28	52	22	20	16
	резервний	72	100	142	98	22	24	28
	всього	150	150	170	150	44	44	44

3 РОЗРАХУНОК ДОВЖИНИ ДІЛЯНОК РЕГЕНЕРАЦІЇ ТА КІЛЬКОСТІ РЕГЕНЕРАТОРІВ

3.1 Рекомендації з вибору типу оптичного волокна

У загальному випадку при виборі типу оптичного волокна слід керуватися таблицею Б.1 (ITU-T G.957), що визначає відповідний інтерфейс мультиплексора (код застосування) залежно від орієнтовної довжини регенераційної секції.

Типові параметри оптичних волокон, що відповідають рекомендаціям ITU-T G.652, 653, 654, 655, наведені в таблиці Б.1.

Для одномодових волокон, що відповідають рекомендаціям ITU-T G.652 (SMF – single mode fiber), довжина хвилі з нульовою дисперсією знаходиться в проміжку між довжинами хвиль 1300 і

1324 нм, отже, це волокно оптимізовано для області 1310 нм. Однак волокна, що відповідають рекомендаціям G.652, можуть також використовуватися і в області 1550 нм, для якої максимальне значення дисперсії порівняно велике.

Для волокна, що відповідає рекомендаціям ITU-T G.653 (волокно зі зсувом дисперсії в область довжин хвиль 1,55 – DSSMF – Dispersion Shifted Single Mode Fiber), припустимий діапазон довжин хвиль, що відповідають нульовій дисперсії волокна, знаходиться в межах 1500 і 1600 нм, отже, волокно є оптимізованим в області 1550 нм.

Волокна зі зсувом хвилі відсічення, що відповідають рекомендаціям ITU-T G.654, мають довжину хвилі нульової дисперсії біля точки 1300 нм і зсунули точку відсічення. Волокно мінімізоване за рівнем втрат біля точки 1550 нм й оптимізоване для використання в діапазоні 1500 – 1600 нм.

Слід зазначити, що для високошвидкісних ліній передавання домінуючим фактором обмеження довжини ділянки регенерації є дисперсія. При застосуванні оптичного кабелю зі стандартними одномодовими волокнами (SMF) зі зростанням швидкості передачі від 155 до 2500 Мбіт/с буде мати місце різке зменшення довжини ділянки регенерації. Тому застосування DSSMF порівняно з SMF дозволяє істотно збільшити довжину ділянки регенерації за широкосмужністю, тому що довжина хвилі нульової дисперсії для DSSMF зсунута в середину робочого діапазону 1,55 мкм.

Також у системах SDH можливе застосування оптичного волокна з ненульовою зсунутою дисперсією (NZDSSMF - Non - Zero Dispersion Shifted Single Mode Fiber), що відповідає рекомендаціям G.655 (відсутнє в таблиці Б.1). Це необхідно, якщо передбачається можливість подальшого розвитку мережі за рахунок переходу в майбутньому до використання технології спектрального ущільнення DWDM.

Особливістю даного типу волокна порівняно з DSSMF (G.653) є те, що довжина хвилі нульової дисперсії винесена за межі робочого діапазону довжин хвиль у вікні 1,55 мкм, але порівняно з SMF (G.652) воно має істотно низьке значення дисперсії у вікні 1,55 мкм.

3.2 Рекомендації з розрахунку довжини ділянок регенерації та кількості регенераторів

При проектуванні лінії зв'язку на основі волоконно-оптичного кабелю мають розраховуватися окремо довжина ділянки регенерації за загасанням L_α і довжина ділянки регенерації за широкосмужністю L_B , тому що причини, які обмежують граничні значення L_α і L_B , незалежні.

У загальному випадку необхідно розраховувати дві величини довжини ділянки регенерації за загасанням:

$L_{\alpha \max}$ – максимальну проектну довжину ділянки регенерації;

$L_{\alpha \min}$ – мінімальну проектну довжину ділянки регенерації.

Максимальна довжина ділянки регенерації. Для оцінювання величини максимальної довжини ділянки регенерації $L_{\alpha \max}$ й L_B можуть бути використані такі вирази:

$$L_{\alpha \max} < \frac{E_{\text{п}} - M - n \cdot \alpha_{\text{рз}}}{\alpha_{\text{ок}} + \alpha_{\text{нз}} / L_{\text{буд}}};$$
$$L_B = \frac{4.4 \cdot 10^5}{\sigma \cdot \Delta\lambda \cdot B},$$

де $\alpha_{\text{ок}}$ – кілометричне загасання в оптичному волокні, дБ/км;

$\alpha_{\text{нз}}$ – загасання потужності оптичного випромінювання нерознімного оптичного з'єднувача на стику між будівельними довжинами кабелю (втрати в нерознімному з'єднанні), дБ;

$L_{\text{буд}}$ – значення будівельної довжини кабелю, км;

$\alpha_{\text{рз}}$ – загасання потужності оптичного випромінювання рознімного оптичного з'єднувача (втрати в рознімному з'єднанні);

n – кількість рознімних оптичних з'єднувачів, дБ;

σ – сумарна дисперсія одномодового оптичного волокна, пс/(нм·км);

$\Delta\lambda$ – ширина спектра джерела випромінювання, нм;

B – швидкість передавання цифрових сигналів в оптичному тракті, МГц;

M – експлуатаційний запас (2-6 дБ), дБ;

$E_{\text{п}}$ – енергетичний потенціал.

Енергетичний потенціал розраховується за формулою, дБм,

$$E_{\text{п}} = P_{\text{пер}} - P_{\text{пр min}}, \quad (3.1)$$

де $P_{\text{пер}}$ – рівень потужності оптичного випромінювання на передачі, дБм;

$P_{\text{пр min}}$ – мінімальна чутливість приймача – мінімальне значення рівня потужності оптичного випромінювання на вході приймача, при якому забезпечується коефіцієнт помилок не більше $1 \cdot 10^{-10}$ до кінця терміну служби апаратури.

Визначення рівня потужності оптичного випромінювання, тобто $P_{\text{пер}}$, здійснюють за формулою, дБм,

$$P_{\text{пер}} = P_{\text{с}} - \Delta P, \quad (3.2)$$

де $P_{\text{с}}$ – середня потужність випромінювання – рівень середньої потужності оптичного сигналу на виході джерела випромінювання;

ΔP – зниження рівня середньої потужності, що залежить від характеру сигналу (для коду NRZ, що застосовується в апаратурі SDH, 3 дБ).

Мінімальна довжина ділянки регенерації. Для оцінювання величини мінімальної довжини ділянки регенерації $L_{\alpha \text{ min}}$ може бути використаний вираз

$$L_{\alpha \text{ min}} > \frac{P_{\text{пер}} - P_{\text{пр max}}}{\alpha_{\text{ок}} + \alpha_{\text{нз}} / L_{\text{буд}}},$$

де $P_{\text{пр max}}$ – мінімальне перевантаження – максимальний рівень потужності оптичного випромінювання на вході приймача, при якому забезпечується коефіцієнт помилок не більше $1 \cdot 10^{-10}$ до кінця терміну служби апаратури.

При проектуванні бажано обирати апаратуру або кабель з такими технічними даними ($\Delta\lambda$, σ), що забезпечують виконання співвідношення

$$L_B > L_{\alpha \max}. \quad (3.3)$$

Це забезпечує запас за широкосмужністю на ділянці регенерації на перспективу розвитку.

Кількість регенераційних пунктів, що не обслуговуються (НРП),

$$N_{НРП} = \left\lceil \frac{L}{L_{\alpha \max}} \right\rceil - 1, \quad (3.4)$$

де L – відстань між вузлами мережі – регенераційними пунктами, що обслуговуються (ОРП). Зворотні дужки у виразі (3.4) означають закруглення до більшого цілого.

Приклад. Проведемо розрахунок довжини ділянки регенерації та кількості регенераторів для лінії зв'язку між вузлами D і C розглянутого прикладу в розділі 1.

Вихідні дані для розрахунку. Довжина лінії зв'язку складає 246 км. Нехай використовується одномодове оптичне волокно з такими параметрами: $\alpha_{ок} = 0,25$ дБ, $\sigma = 18$ пс/нм·км на довжині хвилі 1550 нм, будівельна довжина – 4 км (обраний код застосування L-4.2 за таблицею В.1 й оптичне волокно, що відповідає рекомендаціям G.652).

Рівень SDH мультиплексорів – STM-4 (622,08 Мбіт/с). Параметри оптичного передавача і приймача SDH мультиплексора STM-4 (для курсового проектування можуть бути обрані за таблицями В.2-В.4): середня потужність передачі – 0 дБ; чутливість приймача при коефіцієнті помилок 10^{-10} – 28 дБ; максимальний припустимий рівень на вході – 8 дБ; ширина спектра джерела випромінювання – 0,3 нм.

Експлуатаційний запас – 6 дБ. Втрати в рознімних з'єднаннях – 0,6 дБ. Кількість рознімних з'єднань – 2. Втрати в нерознімних з'єднаннях – 0,02 дБ.

Розрахунок довжини ділянки регенерації та кількості регенераторів

1 Розраховуємо енергетичний потенціал:

$$P_{\text{пер}} = P_c - \Delta P = 0 - 3 = -3 \text{ дБ};$$

$$E_{\text{п}} = P_{\text{пер}} - P_{\text{пр min}} = -3 - (-28) = 25 \text{ дБ}.$$

2 Розраховуємо максимальну довжину ділянки регенерації за загасанням і широкосмувністю:

$$L_{\alpha \text{ max}} < \frac{E_{\text{п}} - M - n \cdot \alpha_{\text{рз}}}{\alpha_{\text{ок}} + \alpha_{\text{нз}} / L_{\text{буд}}} = \frac{25 - 6 - 2 \cdot 0,6}{0,25 + 0,02 / 4} = \frac{17,8}{0,255} = 69,8 \text{ км};$$

$$L_{\text{в}} = \frac{4,4 \cdot 10^5}{\sigma \cdot \Delta \lambda \cdot B} = \frac{4,4 \cdot 10^5}{18 \cdot 0,3 \cdot 622,08} = 130,9 \text{ км}.$$

Для розглянутого прикладу умова $L_{\text{в}} > L_{\alpha \text{ max}}$ виконується, тому ми можемо використовувати обране оптичне волокно.

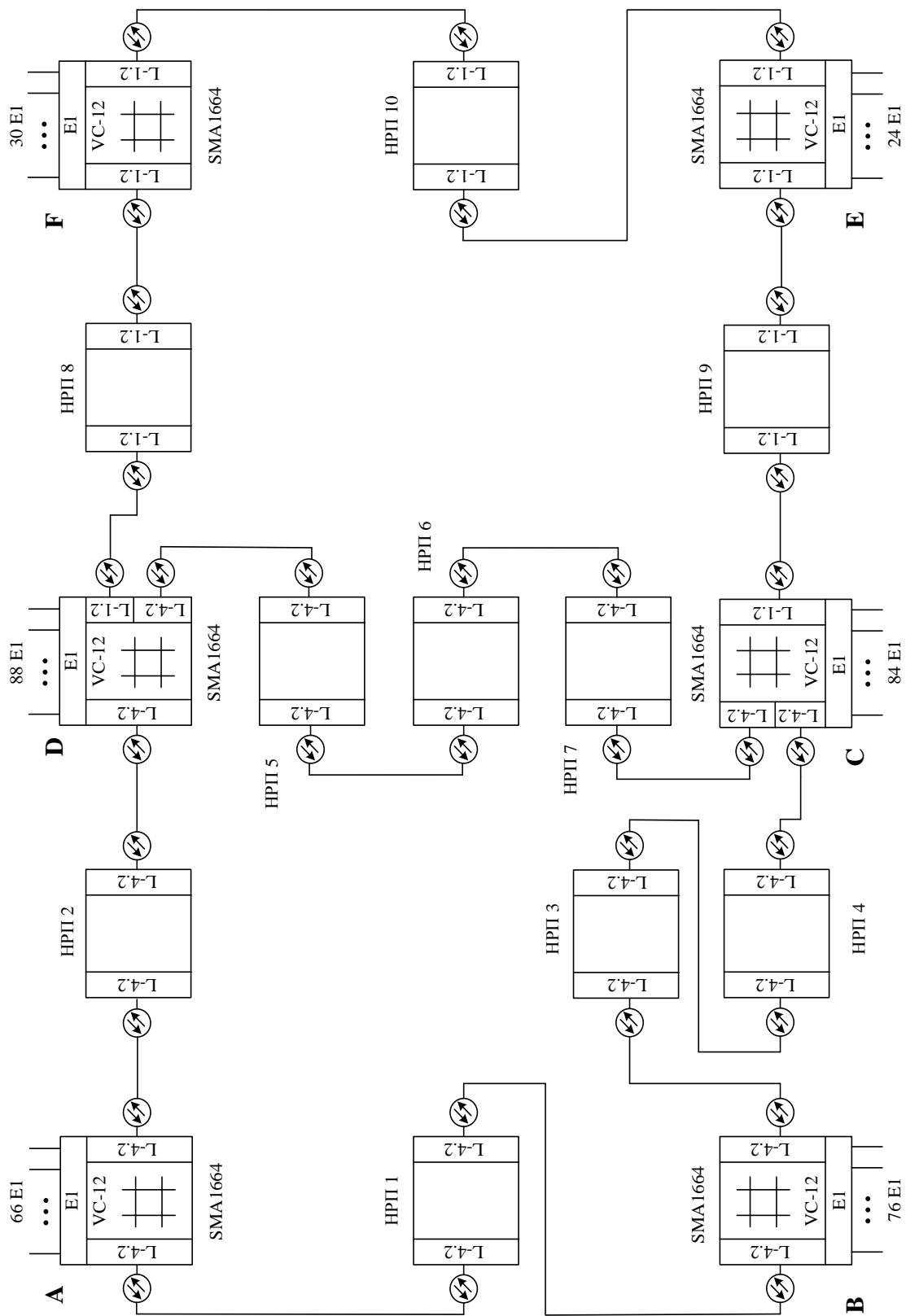
3 Розраховуємо мінімальну довжину ділянки регенерації:

$$L_{\alpha \text{ min}} > \frac{P_{\text{пер}} - P_{\text{пр max}}}{\alpha_{\text{ок}} + \alpha_{\text{нз}} / L_{\text{буд}}} = \frac{-3 - (-8)}{0,25 + 0,02 / 4} = \frac{5}{0,255} = 19,6 \text{ км}.$$

4 Розраховуємо кількість регенераційних пунктів, що не обслуговуються:

$$N_{\text{НРП}} = \left\lceil \frac{L}{L_{\alpha \text{ max}}} \right\rceil - 1 = \left\lceil \frac{246}{69,8} \right\rceil - 1 = 3.$$

Після проведення розрахунку кількості регенераторів для кожного сегмента мережі складається загальна схема проєктованої первинної мережі (рисунок 3.1).



Рисуніок 3.1 – Схема проєктованої первинної мережі

4 СИНХРОНІЗАЦІЯ ПРОЕКТОВАНОЇ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОЇ МЕРЕЖІ ЗВ'ЯЗКУ

Впровадження мереж SDH, що використовують разом зі звичною топологією «точка–точка» кільцеву і чарункову топології, призвело до додаткових труднощів у вирішенні проблем синхронізації, тому що для двох останніх топологій маршрути сигналів можуть змінюватися в процесі функціонування мереж.

Мережі SDH мають кілька дублюючих джерел синхронізації (рисунок 4.1):

- сигнал зовнішнього мережного тактового генератора або первинне джерело синхронізації PRC (Primary Reference Clock) частотою 2 048 кГц (рекомендація ITU-T G.811);

- вторинне джерело синхронізації транзитного (або локального) вузла SSU (Synchronization Supply Unit) – сигнал частотою 2 048 кГц, що виділяється з первинного потоку 2 048 кбіт/с каналу доступу і визначений у рекомендації ITU-T G.812Т(L);

- джерело синхронізації обладнання SDH – SEC (Synchronization Equipment Clock) – сигнал внутрішнього задавального генератора (рекомендація ITU-T G.813).

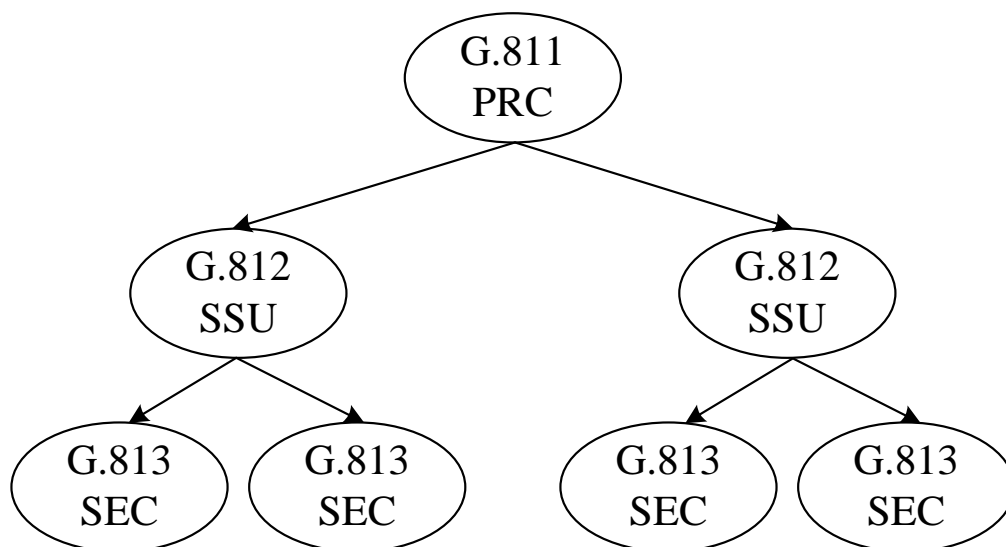


Рисунок 4.1 – Джерела синхронізації мереж SDH

Еталонний ланцюг передавання сигналу синхронізації в системі SDH показано на рисунку 4.2.

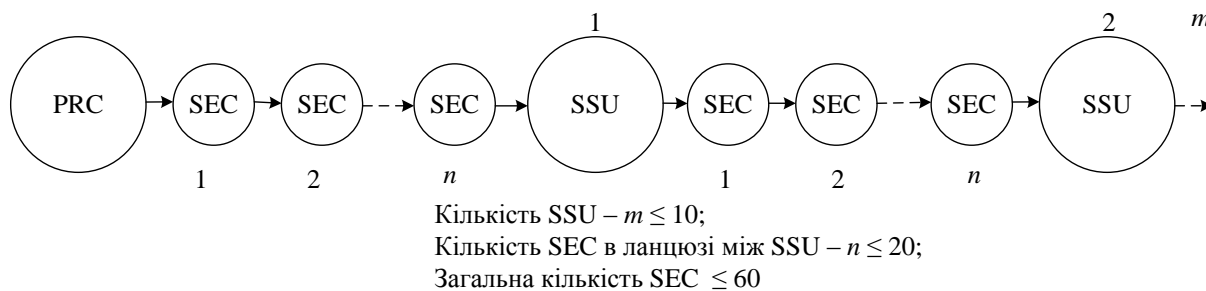


Рисунок 4.2 – Еталонний ланцюг синхронізації

В обладнанні SDH передбачається чотири стандартних режими роботи задавальних генераторів вузлів синхронізації:

- режим первинного джерела синхронізації PRC (ведучий або майстер-вузол);
- режим примусової синхронізації – режим веденого задавального генератора (транзитний і/або кінцевий вузли);
- режим утримання;
- вільний режим.

Організацією ITU-T запропоновано використовувати поняття рівня якості джерела синхронізації. Цей рівень може бути переданий у вигляді повідомлення про статус синхронізації через заголовок модуля STM, для чого використовуються біти 5–8 у складі байта S1 секційного заголовка SOH. Можливі значення параметрів якості джерела синхронізації наведено в таблиці 4.1.

Передавання інформації про якість джерела синхронізації дозволяє уникнути проблем, пов'язаних з порушенням синхронізації. Так, наприклад, у процесі реконфігурування мережі або гнучкого перемикачання на резерв система синхронізації повинна також реконфігуруватися. Передавання інформації про якість джерела синхронізації конкретного вузла дає можливість автоматичного регулювання процесів у системі синхронізації. Наприклад, сигнал від джерела синхронізації поганої якості не використовується для синхронізації від нього інших вузлів.

Таблиця 4.1 – Значення параметра якості джерела синхронізації

Позначення	Біти 5–8 байта S1	Рівень якості	Значення параметра
PRC	0010 (2 hex)	Q1	Primary Reference Clock – первинне джерело синхронізації (G.811)
TNC	0100 (4 hex)	Q2	Transit Node Clock – вторинне джерело синхронізації транзитного вузла (G.812T)
LNC	1000 (8 hex)	Q3	Local Node Clock – вторинне джерело синхронізації локального вузла (G.812L)
SETS	1011 (B hex)	Q4	Synchronous Equipment Timing Source – джерело синхронізації обладнання SDH (G.813). Передається у випадку, коли мультиплексор знаходиться в режимі утримання або у вільному режимі роботи і якщо в списку пріоритетів відсутні інші джерела тактових сигналів
Unknown	0000 (0 hex)	Q5	Якість джерела синхронізації не визначена. Передається доти, поки внутрішній кварцовий генератор не буде синхронізований із джерелом вхідних тактових сигналів. Як тільки це відбудеться, на всі інші лінійні порти мультиплексора (за винятком того, від якого відбулася синхронізація) передаються біти 5–8 байта S1, що відповідають цьому джерелу опорних тактових сигналів
Don't use	1111 (F hex)	Q6	Не використовувати для синхронізації. Передається у зворотному напрямку (зворотний напрямок відносно напрямку, від якого відбулася синхронізація) для запобігання утворенню петлі синхронізації

Основною вимогою при формуванні мережі синхронізації є наявність основних і резервних шляхів розповсюдження сигналу синхронізації. Однак і в тому, і в іншому випадку необхідно строго дотримуватися топології ієрархічного дерева й не має бути замкнених петель синхронізації. Іншою вимогою є наявність альтернативних джерел синхронізації. Ідеальна ситуація, коли альтернативні джерела синхронізації проранжовані за пріоритетом і статусом.

Петлі синхронізації виникають, коли генератор використовує для відстеження свій власний сигнал синхронізації, як показано на рисунку 4.3. При виникненні таких петель стабільність частоти еталонного генератора значно зменшується (фактично відбувається підстроювання частоти задавального генератора під самого себе).

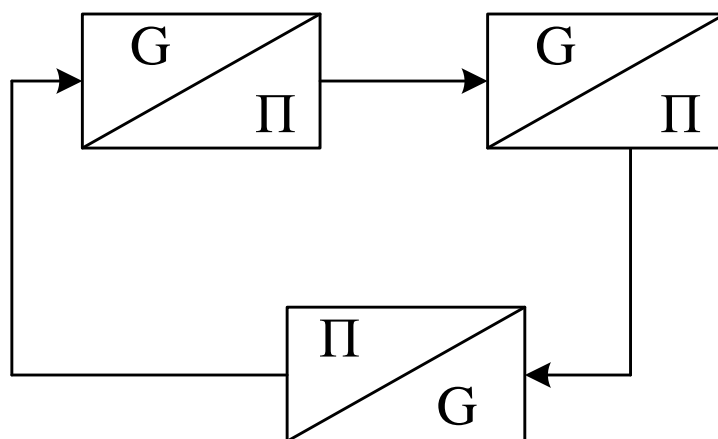


Рисунок 4.3 – Петля синхронізації

У лінійній або кільцевій мережі всі мультиплексори звичайно синхронізуються ведучим джерелом тактових сигналів.

У кільцевій мережі ведучий мультиплексор передає тактовий сигнал в обох напрямках, у лінію «ЗАХІД» і лінію «СХІД». Всі інші мультиплексори в кільцевій мережі є «веденими мультиплексорами» і синхронізуються цим тактовим сигналом.

Далі розглянемо приклади синхронізації мереж SDH з кільцевою та лінійною топологіями. У подальшому при розгляді питань тактової синхронізації мультиплексор (мережний елемент) будемо позначати, як показано на рисунку 4.4.

сконфігурований додатковий задавальний генератор, занесений у список пріоритетів.

4.1 Синхронізація мережі SDH з лінійною топологією

Схему мережі SDH з лінійною топологією показано на рисунку 4.5, розподіл джерел синхронізації наведено у таблиці 4.2. У нормальному режимі роботи всі мережні елементи, за винятком NE n , синхронізуються мережним елементом NE 1 із джерелом тактових сигналів PRC (рівень якості Q1). У мережному елементі NE n джерело тактових сигналів TNC було сконфігуровано з рівнем якості Q2.

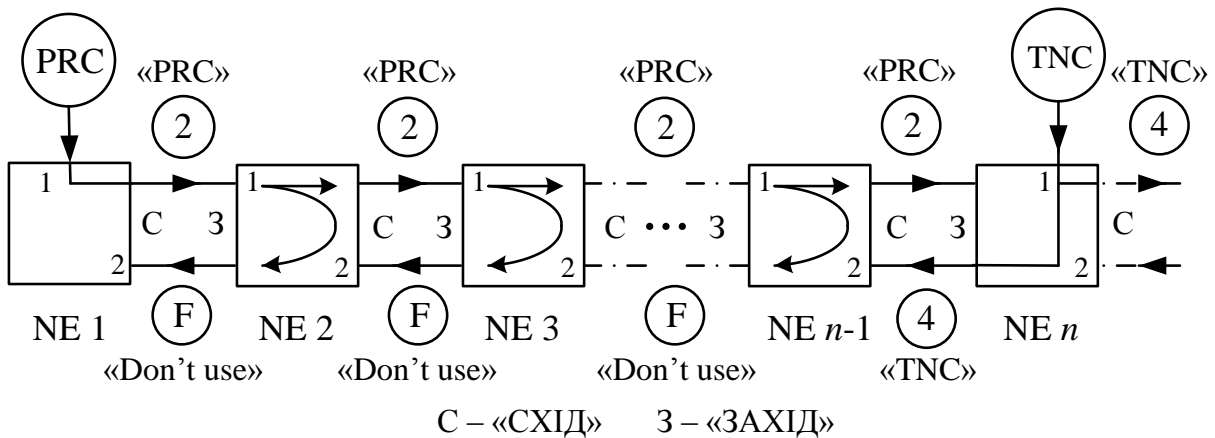


Рисунок 4.5 – Приклад синхронізації мережі SDH з лінійною топологією (нормальний стан)

Таблиця 4.2 – Розподіл джерел синхронізації мережі з лінійною топологією

Номер NE	Пріоритет джерела синхронізації	
	1	2
1	Зовнішній 2 МГц PRC	Лінійний сигнал від NE 2
2	Лінійний сигнал від NE 1	Лінійний сигнал від NE 3
3	NE 2	Лінійний сигнал від NE 4
⋮	⋮	⋮
$n-1$	Лінійний сигнал від $n-2$	Лінійний сигнал від n
n	Зовнішній 2 МГц TNC	Лінійний сигнал від лінії «СХІД»

Мережний елемент NE n передає байт S1 зі значенням 4 hex, що відповідає використанню джерела тактових сигналів з рівнем якості Q2. Мережні елементи NE 2 – NE $n-1$ передають байт S1 зі значенням F hex у лінію «ЗАХІД» (не використовувати для синхронізації).

Мережний елемент NE 1 (рисунок 4.6) втрачає сигнал опорного тактового генератора PRC, що має пріоритет 1.

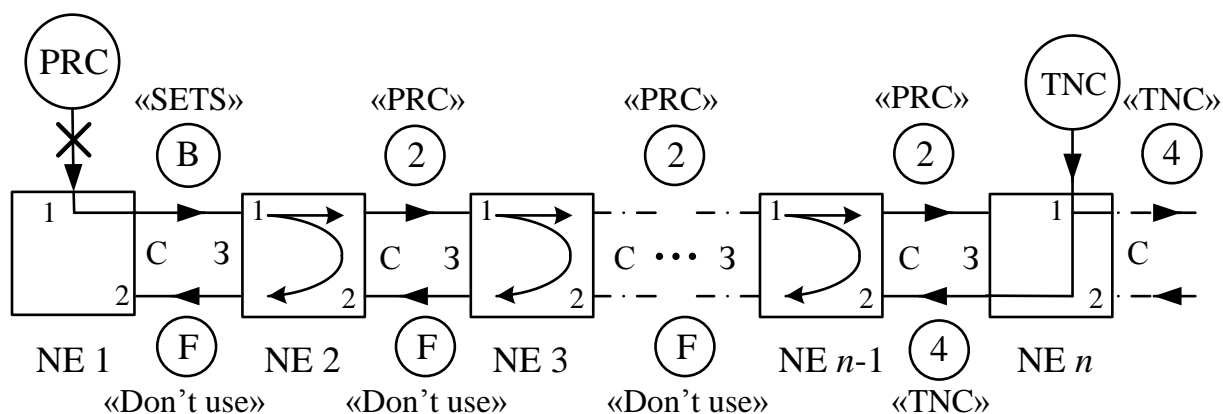


Рисунок 4.6 – Приклад синхронізації мережі SDH з лінійною топологією (реакція елемента NE 1 на відмову ведучого джерела синхронізації PRC)

Сигнал із пріоритетом 2 не може використовуватися, оскільки був прийнятий байт S1 зі значенням F hex. Мережний елемент NE 1 перемикається в режим утримання синхронізації та передає байт S1 B hex на вихід лінії «СХІД».

Мережний елемент NE 2 (рисунок 4.7) приймає байт S1 B hex по своїй лінії «ЗАХІД» і потім синхронізується від мережного елемента NE 1 (джерел синхронізації з більш високою якістю немає). Тепер байт S1 B hex також уводиться в лінію «СХІД». Те ж саме застосовується до всіх наступних мережних елементів до NE 3.

Мережний елемент NE $n-1$ тепер може використовувати одне з двох джерел тактових сигналів – лінію «ЗАХІД» з рівнем якості Q4 і лінію «СХІД» з рівнем якості Q2. У результаті здійснюється вибір джерела тактових сигналів з більш високим рівнем якості – Q2 (лінія «СХІД», мережний елемент NE n).

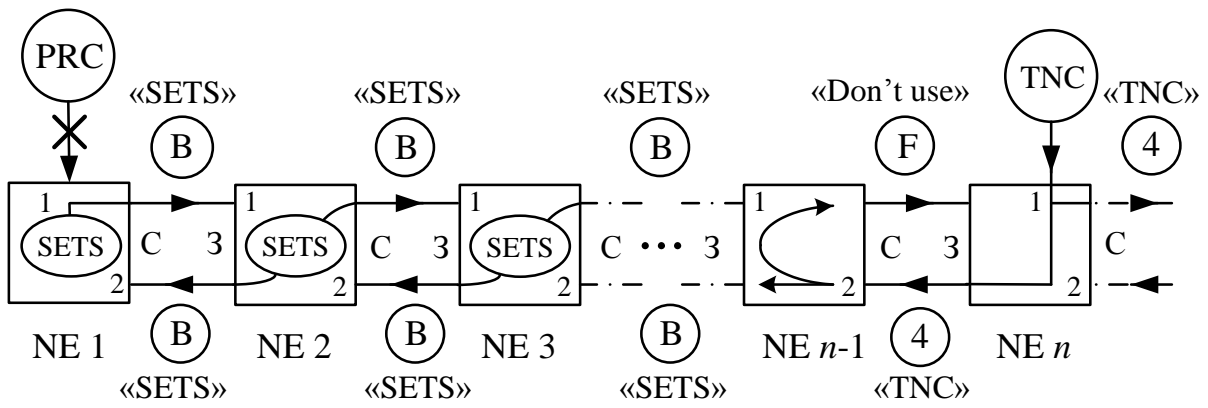


Рисунок 4.7 – Приклад синхронізації мережі SDH з лінійною топологією (реакція мережних елементів NE 2 – NE N – 2 на відмову ведучого джерела синхронізації PRC)

Мережний елемент NE $n-1$ (рисунок 4.8) приймає байт S1 4 hex по своїй лінії «СХІД» і передає його всім мережним елементам по лінії «ЗАХІД». Тепер вся лінійна мережа синхронізується джерелом тактових сигналів TNC, що має рівень якості Q2.

Як тільки стане доступним джерело тактових сигналів PRC в мережному елементі NE 1, то це джерело тактових сигналів знову може бути використане для синхронізації.

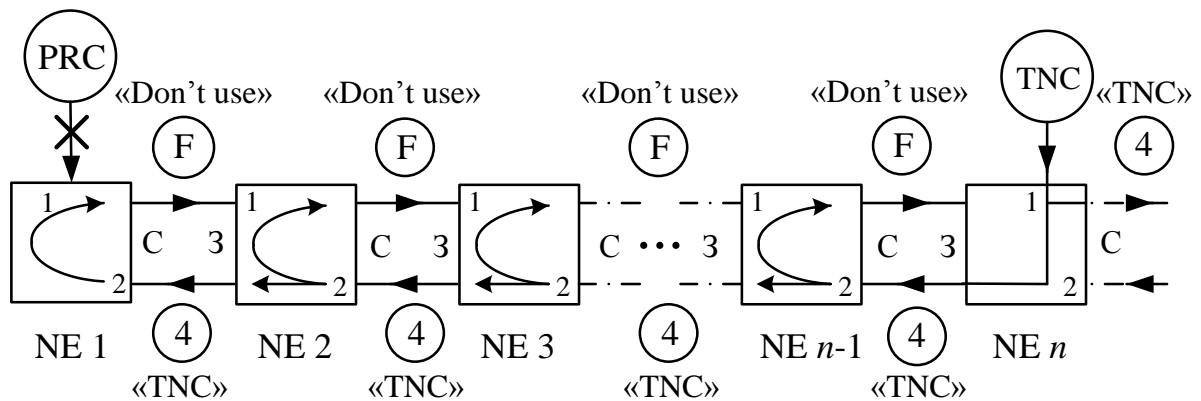


Рисунок 4.8 – Приклад синхронізації мережі SDH з лінійною топологією (реакція мережних елементів NE $n-1$ – NE 1 на відмову ведучого джерела синхронізації PRC)

4.2 Синхронізація мережі SDH з кільцевою топологією

Розглянемо приклад синхронізації мережі SDH з кільцевою топологією. Мережний елемент NE 1 (рисунок 4.9) синхронізує всі мережні елементи з використанням ведучого генератора тактових сигналів PRC (пріоритет 1).

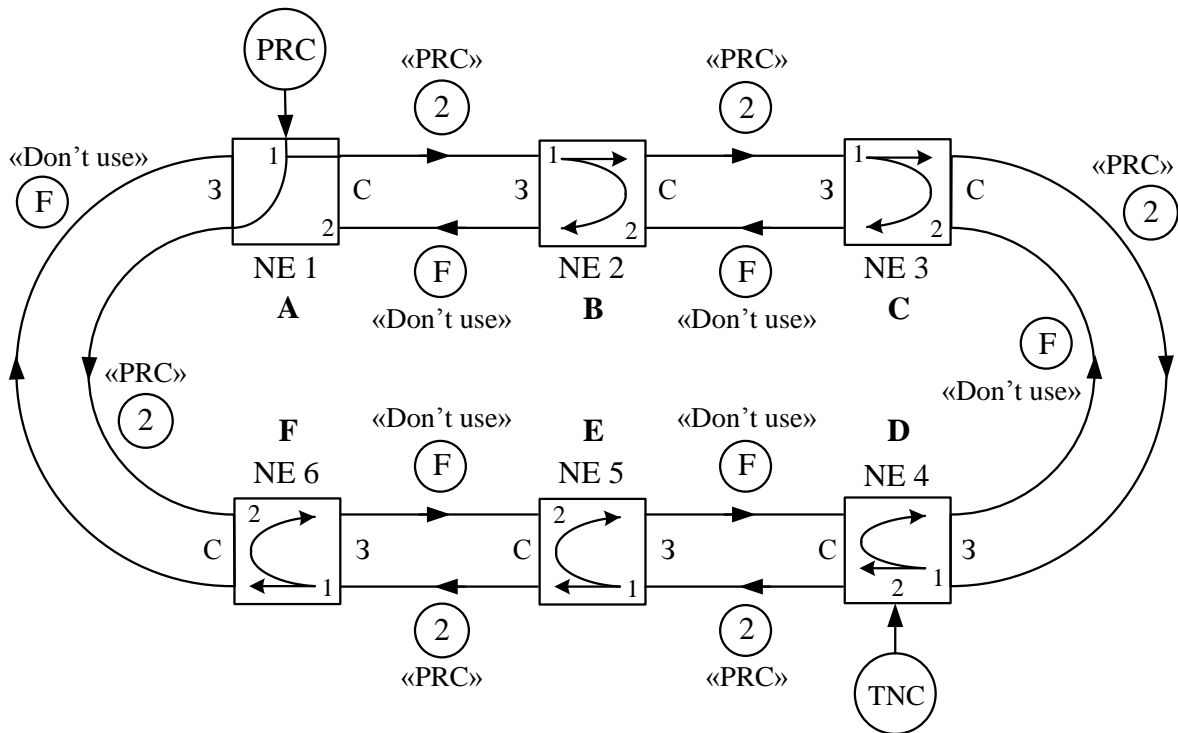


Рисунок 4.9 – Приклад синхронізації мережі SDH з кільцевою топологією (нормальний стан)

У мережному елементі NE 4 джерело опорних тактових сигналів TNC сконфігуровано з пріоритетом 2. Джерело опорних тактових сигналів на лінії «ЗАХІД» має пріоритет 1. Розподіл джерел синхронізації кільцевої мережі наведено в таблиці 4.3.

При виникненні відмови NE 1 мережні елементи NE 2 і NE 6 (рисунок 4.10) більше не приймають сигнали від NE 1. Дана ситуація не має впливу на мережний елемент NE 6, оскільки цей мережний елемент синхронізується елементом NE 5. Мережний елемент NE 2 не може використовувати сигнал від NE 3 для синхронізації, оскільки він приймає байт S1 F hex. Мережний елемент NE 2 перемикається в режим утримання й передає байт S1 B hex у лінії «СХІД» і «ЗАХІД».

Таблиця 4.3 – Розподіл джерел синхронізації кільцевої мережі

Номер NE	Вузол	Пріоритет джерела синхронізації	
		1	2
1	A	Зовнішній 2 МГц PRC	Лінійний сигнал від вузла B
2	B	Лінійний сигнал від вузла A	Лінійний сигнал від вузла C
3	C	Лінійний сигнал від вузла B	Лінійний сигнал від вузла D
4	D	Лінійний сигнал від вузла C	TNC
5	E	Лінійний сигнал від вузла D	Лінійний сигнал від вузла F
6	F	Лінійний сигнал від вузла E	Лінійний сигнал від вузла A

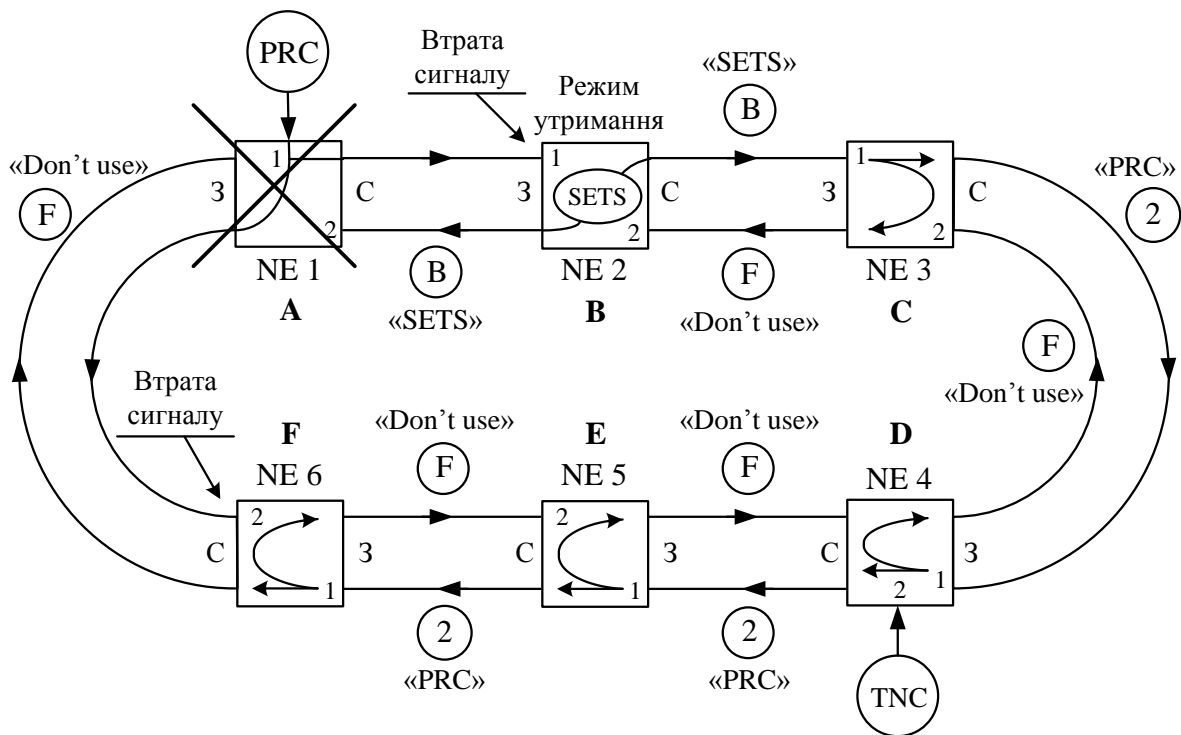


Рисунок 4.10 – Приклад синхронізації мережі SDN з кільцевою топологією (відмова NE 1)

При прийманні байта S1 B hex (рисунок 4.11) мережний елемент NE 3 перемикається в режим утримання. Тепер мережний елемент NE 4 також приймає байт S1 B hex і

перемикається до свого джерела тактових сигналів із пріоритетом 2 (TNC). Байт S1 4 hex, що відповідає джерелу тактових сигналів (рівень якості Q2), вводиться у вихідний сигнал на лініях «СХІД» і «ЗАХІД».

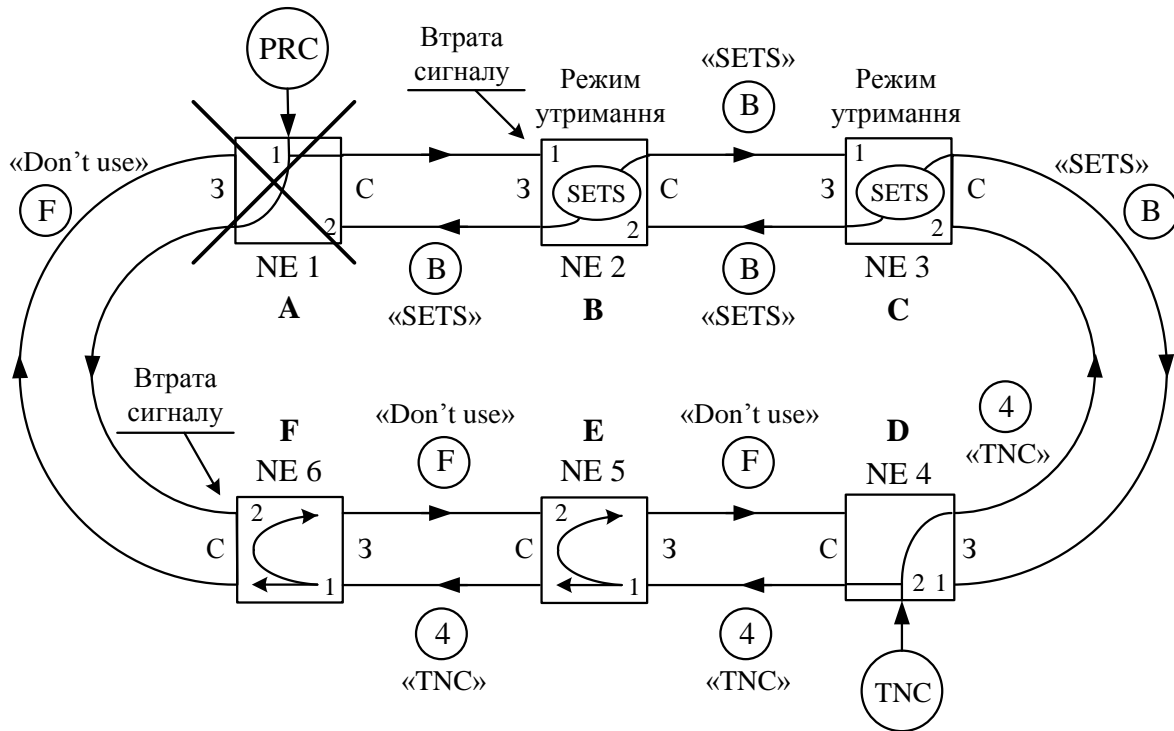


Рисунок 4.11 – Приклад синхронізації мережі SDH з кільцевою топологією (реакція NE 3 і NE 4 на відмову NE 1)

Мережний елемент NE 3 (рисунок 4.12) приймає припустимий опорний тактовий сигнал по лінії «СХІД» і перемикається до цього тактового сигналу. Значення байта S1 у напрямку до NE 2 змінюється з F hex на 4 hex. Елемент NE 2 реагує на це в такий самий спосіб, як і NE 3. Тепер всі мережні елементи в цій кільцевій мережі синхронізуються опорним тактовим генератором TNC.

Тільки тоді, коли знову стає доступним опорний тактовий генератор PRC (рівень якості Q1) мережного елемента NE 1, відновлюється вихідний стан (рисунок 4.9).

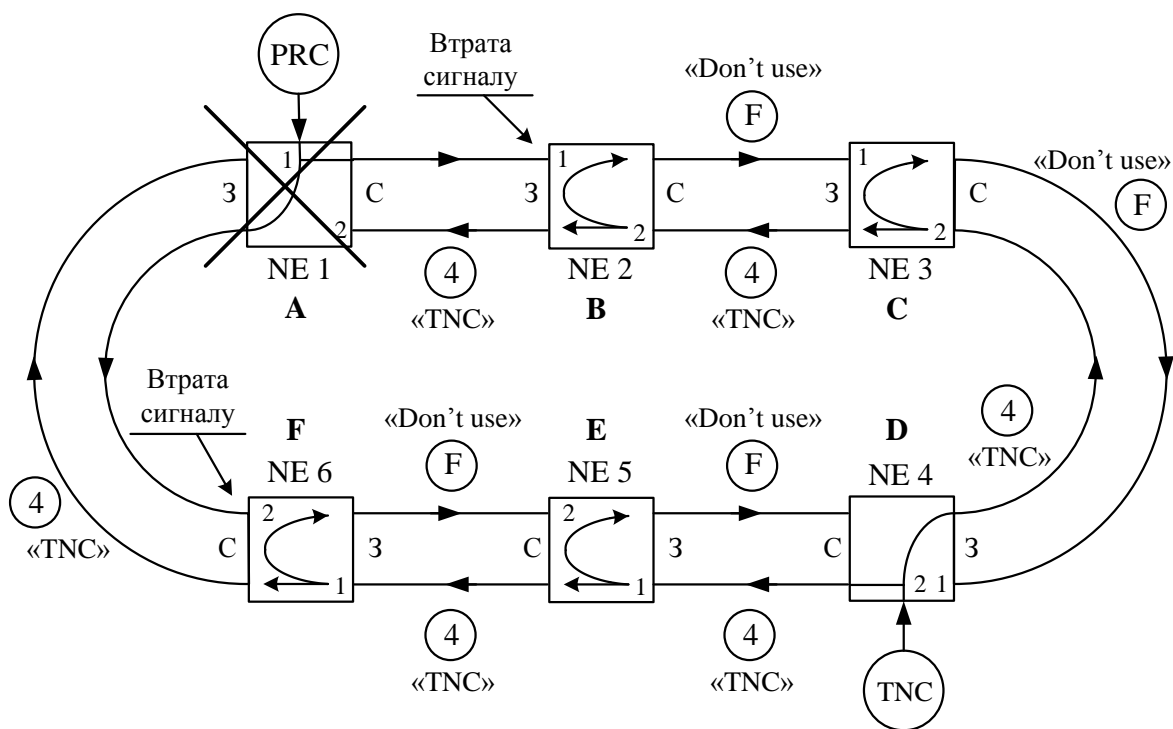


Рисунок 4.12 – Приклад синхронізації мережі SDH з кільцевою топологією (відмова NE 1, синхронізація від TNC)

4.3 Синхронізація чарункової мережі SDH

Розглянемо схему синхронізації чарункової мережі SDH, показану на рисунку 4.13. Мережа має 12 вузлів і нескладну топологію зірки, що включає кілька лінійних ділянок, зв'язаних через вузли концентраторів.

Для полегшення завдання побудови мережі синхронізації схема розбивається на кілька ланцюгів синхронізації. Отримані ланцюги W, X, Y, Z показані ліворуч на рисунку 4.13; цифрами 1 і 2 на цьому рисунку – пріоритети у використанні сигналів синхронізації. Суцільною лінією зображені основні канали синхронізації, пунктиром – резервні канали синхронізації. Майстер-вузли заштриховані.

Кожний ланцюг синхронізації може бути забезпечений одним або двома майстер-вузлами, що отримують синхронізацію від зовнішніх джерел (PRC). Джерело синхронізації є зовнішнім PRC, від якого отримують синхронізацію два майстер-вузли ланцюгів W і X. Ланцюги Y і Z мають загальний майстер-вузол C&D, що отримує сигнал синхронізації від останнього вузла ланцюга X. Суть запропонованого рішення полягає в організації

альтернативного шляху передавання сигналу синхронізації в кожному ланцюзі.

Порушення синхронізації може наступити тільки при низькій надійності зв'язку, що забезпечує синхронізацію майстер-вузлу *C&D*. У цьому сенсі для цього майстер-вузла логічно використовувати локальний первинний задавальний генератор.

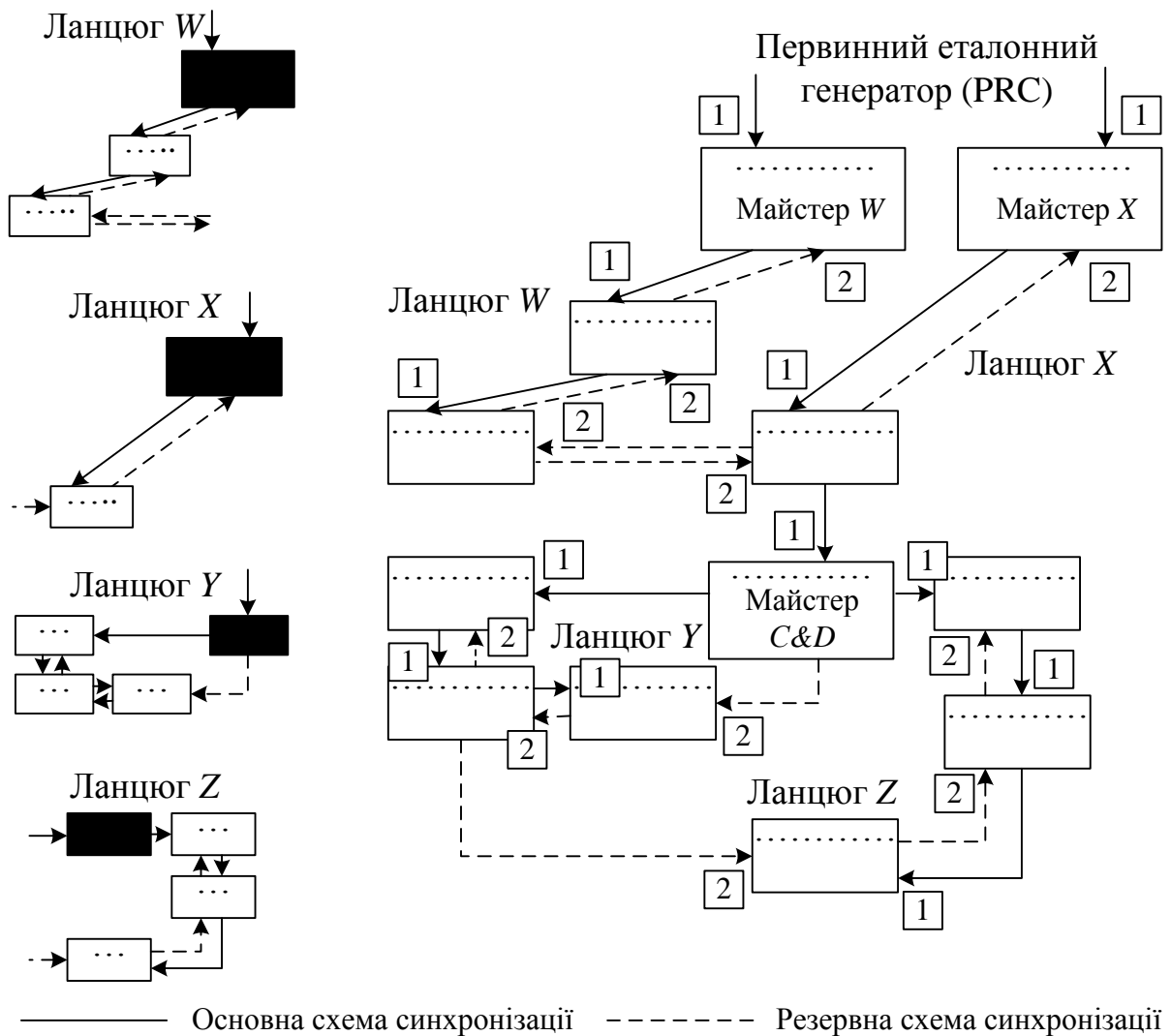


Рисунок 4.13 – Схема синхронізації чарункової мережі SDH

5 РОЗРАХУНОК ОБСЯГУ ОБЛАДНАННЯ ВУЗЛА ПРОЕКТОВАНОЇ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОЇ МЕРЕЖІ ЗВ'ЯЗКУ

5.1 Призначення й основні технічні характеристики мультиплектора SMA1664

Мультиплектори SMA1664 – це сімейство сучасних SDH мультиплексорів, що працюють на рівні VC-12, які в цей час підтримують з'єднання зі швидкістю передавання від 2 Мбіт/с до 2,5 Гбіт/с (STM-16), а в майбутньому й до 10 Гбіт/с (STM-64). Обладнання мультиплектора розроблено у відповідності з рекомендаціями ІТУ-Т: G.703, G.704, G.707, G.783, G.957, G.7041 (GFP), G.7042 (LCAS), G.841, G.842 і G.707.

Призначення. Мультиплектори SMA1664 призначені для забезпечення ефективних телекомунікаційних рішень на міських, регіональних і міжміських магістральних мережах з обсягом переданих даних, що збільшується.

Варіанти розміщення обладнання мультиплексорів. Обладнання SMA1664 версії 1.2 може розміщуватися у блоці стандартного розміру («Стандартна полиця») і в компактному блоці – SMA1664с («Компактна полиця»), у якому використані ті самі плати і який забезпечує таку саму функціональність, але при меншій пропускну́й спроможності.

Основні характеристики SMA1664 (версія 1.2). Мультиплексор SMA1664 підтримує плати зі швидкостями передавання STM-1/4/16 і 2 Мбіт/с PDH і забезпечує підключення:

- 126 x 2 Мбіт/с із використанням чотирьох LTU (блоків закінчень ліній) по 32 x 2 Мбіт/с кожний;
- 32 x 2 Мбіт/с із використанням одного LTU по 32 x 2 Мбіт/с кожний;
- 8 x STM-1 – чотири порти STM-1 (ел./опт.) знаходяться на трибутарній платі і чотири (ел./опт.) – на LTU, S-1.1, L-1.1, L-1.2/L-1.3;
- 2 x STM-4 (S-4.1, L-4.1, L-4.2/L-4.3);
- 1 x STM-16 (S-16.1, L-16.1, L-16.2/L-16.3);
- інтерфейси Fast Ethernet: 16 x 100/1000 Мбіт/с (IEEE 802.3);

- інтерфейси Gigabit Ethernet: 2 x 1000 Мбіт/с (IEEE 802.3);
- шість трибутарних плат по 34 Мбіт/с;
- дво волоконне MS-Spring;
- 1 : N MSP;
- TCM (моніторинг тандемного з'єднання);
- до 16 слотів для лінійних/трибутарних плат і плат LTU (блоків закінчень ліній), кожний з яких підтримує пропускну спроможність STM-16;
- комутаційної матриці TDM 20 Гбіт/с, що не блокується, з резервуванням на рівні VC-12 й еквівалентною ємністю 128 x 128 STM-1, яку можна гнучко розподіляти між 16 лінійними/трибутарними слотами;
- до 16 x STM-16, 32 x STM-4 або Gb, 504 x 2 Мбіт/с, 96 x 34/45 Мбіт/с, 256 x 10/100M Ethernet.

Конфігурації мультиплектора. Залежно від функцій, виконуваних вузлом мережі, на якому встановлений мультиплексор, він може бути сконфігурований для роботи як термінальний мультиплексор, мультиплексор уведення/виведення або мультиплексор з функціями крос-конект (DXC) і може застосовуватися на мережах з лінійною, кільцевою або чарунковою топологіями.

Термінальний мультиплексор. При використанні SMA1664 як термінального мультиплектора з одним лінійним інтерфейсом STM-16 забезпечується до 112 ліній STM-1.

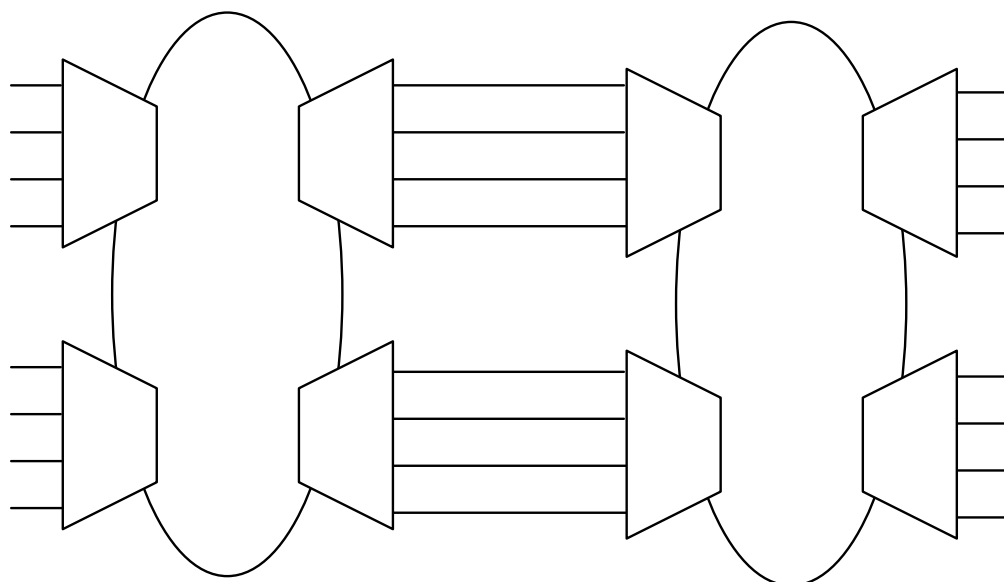
Мультиплексор уведення/виведення. При застосуванні SMA1664 як мультиплектора уведення/виведення з двома лінійними інтерфейсами STM-16 забезпечується до 96 ліній STM-1.

Мультиплексор для об'єднання кілець STM-16/STM-64. Мультиплексор SMA1664 дозволяє об'єднувати кільця SDH без додаткових витрат на другий сполучний мультиплексор та інтерфейси між ними (рисунок 5.1). З'єднання підтримують передавання сигналів STM-1 або STM-4 (можливе також передавання STM-16).

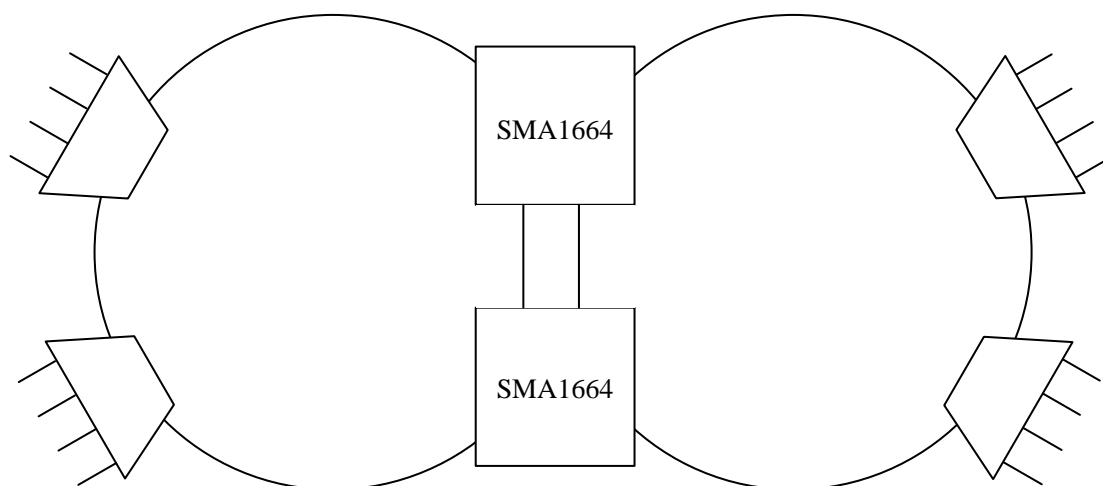
Мультиплексор з функціями крос-конект. Мультиплексор SMA1664 може використовуватися як DXC (мультиплексор з функціями крос-конект) на декількох рівнях мережі. Можлива конфігурація SMA1664 як DXC STM-64, STM-16, STM-4 або STM-1,

які можуть комутувати всі потоки на основі VC-12. Мультиплексор SMA1664 забезпечує таку кількість агрегатних ліній:

- STM-1 – 128 ліній;
- STM-4 – 32 лінії;
- STM-16 – 16 ліній.



а)



б)

а) найпоширеніший спосіб об'єднання;
б) рішення на основі мультиплексора SMA1664
Рисунок 5.1 – Способи об'єднання кілець SDH

Об'єднання мереж з пакетною комутацією. Мультиплексор SMA1664 дозволяє об'єднувати мережі передавання даних з пакетною комутацією (Ethernet/Fast Ethernet/Gigabit Ethernet) і

забезпечує можливість наскрізного передавання трафіка між двома віддаленими один від одного пристроями Ethernet/Fast Ethernet/Gigabit Ethernet по мережі SDH (рисунок 5.2).

Передавання трафіка Ethernet здійснюється прозоро від однієї кінцевої точки мережі SDH до іншої з використанням інкапсуляції, такої як LAPS (SDH процедура доступу до каналу) або GFP (загальна процедура формування кадрів). Шлях передавання трафіка по мережі SDH – це один VC або група зчеплених (конкатенованих) VC.

Мультіплексор SMA1664 реалізує розповсюджену послугу – приватна (виділена) лінія Ethernet 10/100/1000 Мбіт/с. При використанні інтерфейсів Ethernet з багатьма портами можна встановлювати більше одного з'єднання від точки А до точок В і С. Кожен пакет, що надходить від кінцевого користувача LAN, відображується (перетворюється) з використанням процедури фрейм-прототипу (GFP) у цифровий потік SDH з постійною бітовою швидкістю.

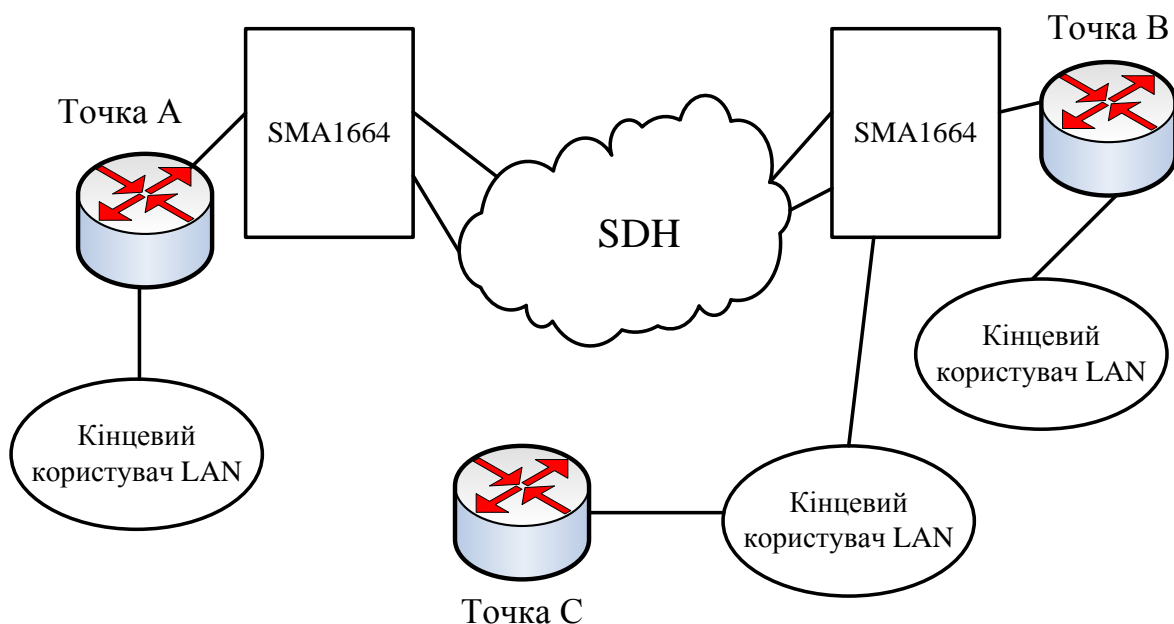


Рисунок 5.2 – Застосування мультіплексора SMA1664 для організації виділеної лінії Ethernet

Пропускна спроможність виділеної лінії може бути фіксованою або гнучкою, змінюваною з використанням схеми зміни пропускної спроможності каналу (LCAS). Для кожного з'єднання (В, С) створюється індивідуальна група VC-х-nv VC.

Також забезпечується передавання даних Ethernet (з використанням модуля розширення порту Ethernet EPЕМ) від споживача по оптичному волокну до SMA1664 (рисунок 5.3). Модуль розширення порту Ethernet (EPЕМ) у приміщенні споживача послуг управляється системою керування мережею SMA1664. 16 модулів EPЕМ можуть бути з'єднані через LTU з однією платою 10/100 Мбіт/с Ethernet.

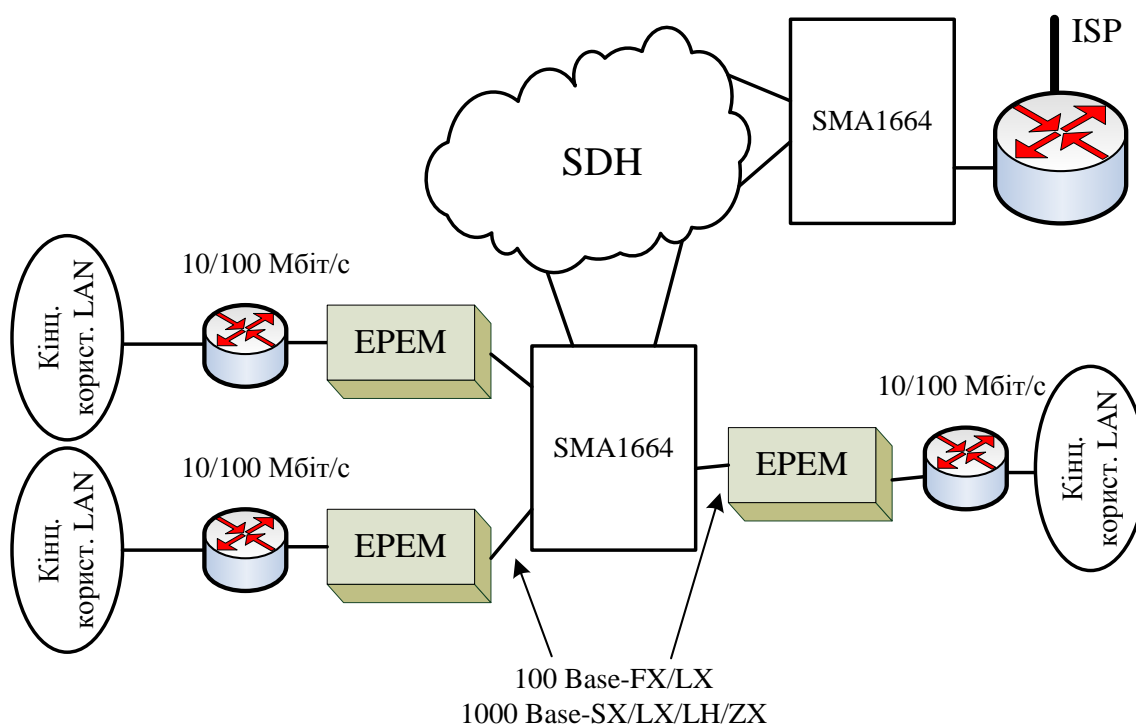


Рисунок 5.3 – Застосування модуля розширення порту Ethernet для зв'язку з віддаленими користувачами

Модуль EPЕМ забезпечує порт LAN (для користувача) і порт WAN для з'єднання по оптичному волокну з платою Ethernet. Модуль EPЕМ дозволяє організувати порти Ethernet, не вимагаючи встановлення в тому самому місці обладнання SDH.

Синхронізація. Обладнання SMA1664 підтримує такі варіанти синхронізації:

- два зовнішні входи тактової частоти відповідно до G.703/G.704;
- два незалежних вхідних сигнали STM-N (разом 32 джерела);
- два незалежних вхідних сигнали 2 Мбіт/с;
- внутрішній задавальний генератор зі стабільністю $4,6 \times 10^{-6}$.

Резервування. Мультиплексор SMA1664 підтримує такі схеми резервування:

- лінійне MSP 1+1 (STM-1, STM-4, STM-16);
- внутрішнє резервування блока живлення (PSU);
- резервування плати комутатора з перемиканням без впливу на передавання трафіка;
- резервування трибутарних плат за схемою 1 : N (2M, 34M/45M, STM-1e);
- SNCP;
- резервування портів PDH 1+1.

Відповідна схема резервування вибирається виходячи з передбачуваного застосування й типів інтерфейсів.

5.2 Склад обладнання мультиплексора SMA1664

Обладнання мультиплексора SMA1664 складається в основному з таких елементів (рисунок 5.4):

- базові елементи (ядро) входять до складу будь-якої конфігурації: контролер апаратури (CCU), комутатор з еквівалентною ємністю 128 x 128 STM-1, блок живлення (Power LTU), блок керування і синхронізації (Management & Sync LTU), флеш-карта, лоток з вентилятором;
- елементи для резервування ядра – резервні блок живлення і комутатор;
- інтерфейси для передавання трафіка (STM-1/4/16/64 – лінійні /трибутарні/LTU і трибутарні PDH);
- локальний термінал.

Схема мультиплексора SMA1664 наведена на рисунку 5.5, де введені такі позначення: L – слоти для лінійних плат, T – слоти для трибутарних плат, LTU – слоти для плат закінчення лінії (Line Terminating Unit). Плати LTU призначені для узгодження виходів трибутарних PDH плат з конкретними типами сполучних ліній, наприклад симетрична 120 Ом або несиметрична 75 Ом, або ж дозволяють для плат STM-1 збільшити кількість портів (чотири порти STM-1 на трибутарній платі й чотири – на платі LTU), а також використовувати резервування. Цифри 16 або 32 біля шин указують наявну для слоту еквівалентну пропускну спроможність – STM-16 або STM-32.

На рисунку 5.6 показано розміщення обладнання мультиплексора SMA1664 у касеті, призначеній для стандартної полиці. Цифри 16 або 32 під слотами для трибутарних/лінійних плат указують наявну для слоту пропускну спроможність – STM-16 або STM-32.

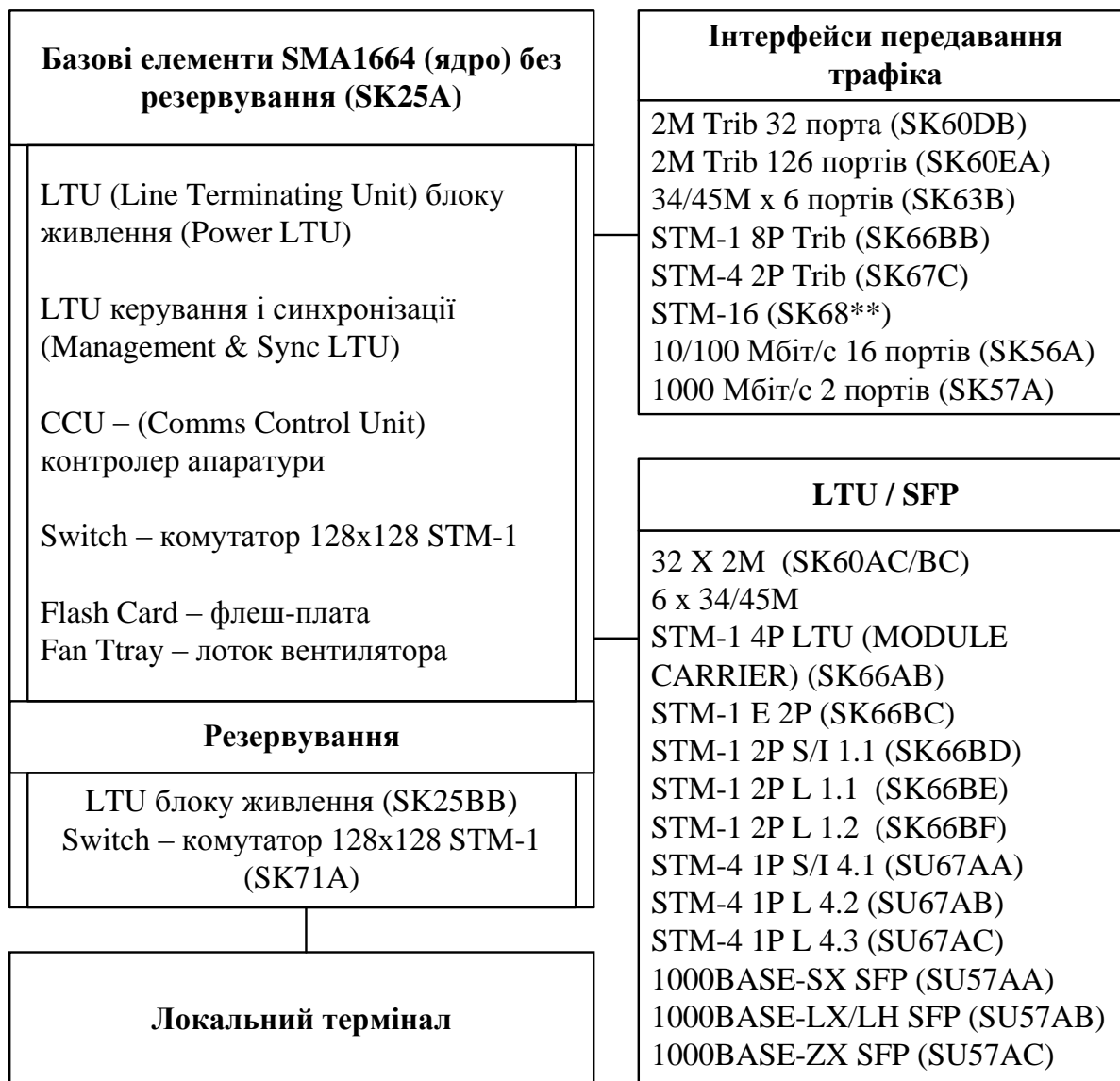


Рисунок 5.4 – Склад обладнання мультиплексора SMA1664

Слід звернути увагу на те, що хоча слоти позначені як слоти для лінійних або трибутарних плат, це вказує тільки на їхнє типове використання. Всі слоти є універсальними, і в них можуть установлюватися і лінійні, і трибутарні плати (аж до STM-16), однак плати 2 Мбіт/с можуть установлюватися тільки в зазначених слотах.

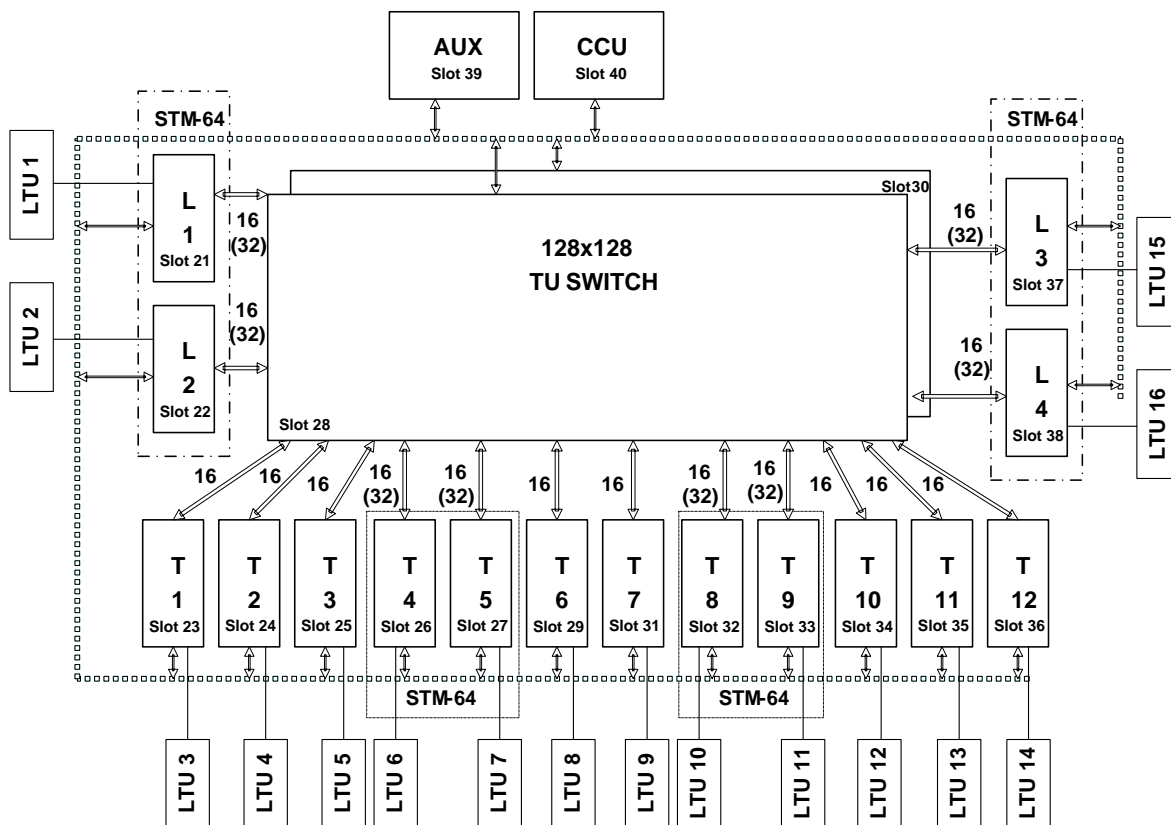


Рисунок 5.5 – Схема мультиплексора SMA1664

Склад секції LTU (верхній ряд касети):

– загальна кількість слотів – 20;

з них:

– 16 слотів LTU для передавання трафіка;

– один слот LTU для плати керування і синхронізації;

– один слот LTU для плати сигналізації та допоміжних функцій;

– два слоти LTU для блоків живлення.

Склад секції плат (нижній ряд касети):

– загальна кількість слотів – 21;

з них:

– 16 слотів для плат передавання трафіка (8 - STM-32);

– два слоти для плат комутації;

– два слоти для CCU;

– слот для допоміжного обладнання.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19			
L1 or T2-2M #4 LTU	L2 or T2-2M #3 LTU	T1 or T2-2M #2 LTU	T2 or T2-2M #1 LTU	T3 or T3-2M #1 LTU	T4 or T3-2M #2 LTU	T5 or T3-2M #3 LTU	T6 or T3-2M #4 LTU	T7 or T10-2M #4 LTU	T8 or T10-2M #3 LTU	T9 or T10-2M #2 LTU	T10 or T10-2M #1 LTU	T11 or T11-2M #1 LTU	T12 or T11-2M #2 LTU	L3 or T11-2M #3 LTU	L4 or T11-2M #4 LTU	Alarms & Aux LTU	Management & Sync LTU	Power LTU A		Pwr A	
LTU 1	LTU 2	LTU 3	LTU 4	LTU 5	LTU 6	LTU 7	LTU 8	LTU 9	LTU 10	LTU 11	LTU 12	LTU 13	LTU 14	LTU 15	LTU 16	Alm LTU	Mgt LTU	Power LTU B		2B	
																		Pwr B			
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	
Line 1	Line 2	Trib 1	Trib 2 (2M #1)	Trib 3 (2M #2)	Trib 4	Trib 5	Switch A	Trib 6	Switch B	Trib 7	Trib 8	Trib 9	Trib 10 (2M #3)	Trib 11 (2M #4)	Trib 12 (2M Protection)	Line 3	Line 4	Aux (допоміжний слот)		CCU A	
32	32	16	16	16	32	32		16		32	32	16	16	16	16	32	32			CCU B	
L1	L2	T1	T2	T3	T4	T5	SA	T6	SB	T7	T8	T9	T10	T11	T12	L3	L4	Aux	CCU A	CCU B	
Fan Tray																					

Рисунок 5.6 – Розміщення обладнання мультиплексора SMA1664 у касеті, призначеній для стандартної полиці

У верхньому ряді встановлюються блоки закінчення ліній (LTU) відповідних трибутарних плат і системні LTU (блок живлення, генератор тактових імпульсів, доступ до TMN), що відповідають допоміжному блоку і блоку CCU.

У таблиці 5.1 наведено інформацію про основні блоки SMA1664.

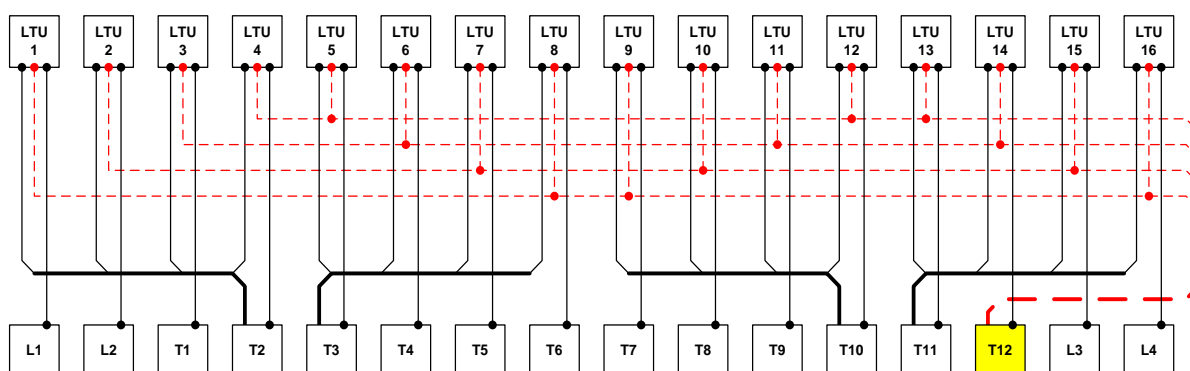
Таблиця 5.1 – Основні блоки SMA1664

Блок	Опис
1	2
Базові елементи (ядро)	
Комутатор	128 x 128 STM-1 1 або 2 (резервування)
CCU	1
Інтерфейси для передавання трафіка	
STM-16 (1 порт)	один порт на платі максимум вісім плат на полицю (працюючих) максимум 16 портів на полицю (8 працюючих + 8 резервних) LTU не використовується
STM-4 (2 порти)	два порти на платі максимум 16 плат на полицю максимум 32 порти на полицю LTU не використовується
STM-1 (4 + 4 порти)	один LTU для кожної плати чотири порти на платі чотири порти на LTU максимум 16 плат на полицю максимум 16 LTU на полицю максимум 128 портів на полицю
Fast Ethernet (16 портів)	один LTU для кожної плати 16 портів 10/100 Мбіт/с на LTU (UTP) максимум 16 плат на полицю максимум 16 LTU на полицю максимум 256 портів на полицю
Gigabit Ethernet (2 порти)	два порти 1000 Мбіт/с на платі максимум 16 плат на полицю максимум 32 порти на полицю
34/45 Мбіт/с (6 портів)	1 LTU для кожної плати 6 портів на LTU максимум 16 плат на полицю максимум 96 портів на полицю

Продовження таблиці 5.1

1	2
2 Мбіт/с (126 портів)	максимум чотири LTU для однієї плати 32 (31) порт на LTU для 2 LTU максимум 63 порти (STM-1) 126 портів на платі максимум чотири плати на полицю максимум 16 LTU на полицю максимум 504 портів на полицю
2 Мбіт/с (32 порти)	один LTU для кожної плати 32 порти на LTU максимум чотири плати на полицю максимум чотири LTU на полицю максимум 128 портів на полицю

Правила установлення обладнання мультиплексора SMA1664. На рисунку 5.7 показано зв'язки між слотами для плат на нижній полиці і LTU на верхній полиці.



L – лінійна плата; T – трибутарна плата; LTU – плата закінчення лінії;
пунктирні лінії показують резервування плат 2 Мбіт/с
Рисунок 5.7 – Зв'язок між LTU та іншими платами
мультиплексора

У таблиці 5.2 наведено інформацію про розташування плат у касеті й інформація про нумерацію плат.

Таблиця 5.2 – Правила установлення плат у слоти стандартної полиці

Слоти для плат	Опис	Плати/LTU, які можуть бути встановлені
		Тип плати/LTU
1	2	3
1	LTU 1	2M LTU; STM-1 LTU; 34/45M LTU; Fast Ethernet LTU
2	LTU 2	2M LTU; STM-1 LTU; Fast Ethernet LTU 34/45M LTU; резервна LTU
3	LTU 3	2M LTU; 34/45M LTU; Fast Ethernet LTU; STM-1 LTU; резервна LTU для резервування плати STM-1
4	LTU 4	2M LTU; 34/45M LTU; Fast Ethernet LTU; STM-1 LTU; резервна LTU
5	LTU 5	2M LTU; 34/45M LTU; Fast Ethernet LTU; STM-1 LTU; резервна LTU для резервування плати STM-1
6	LTU 6	2M LTU; 34/45M LTU; Fast Ethernet LTU; STM-1 LTU; резервна LTU для резервування плати STM-1
7	LTU 7	2M LTU; 34/45M LTU; Fast Ethernet LTU; STM-1 LTU; резервна LTU для резервування плати STM-1
8	LTU 8	2M LTU; 34/45M LTU; Fast Ethernet LTU; STM-1 LTU; резервна LTU для резервування плати STM-1
9	LTU 9	2M LTU; 34/45M LTU; Fast Ethernet LTU; STM-1 LTU; резервна LTU для резервування плати STM-1
10	LTU 10	2M LTU; 34/45M LTU; Fast Ethernet LTU; STM-1 LTU; резервна LTU для резервування плати STM-1
11	LTU 11	2M LTU; 34/45M LTU; Fast Ethernet LTU; STM-1 LTU; резервна LTU
12	LTU 12	2M LTU; 34/45M LTU; Fast Ethernet LTU; STM-1 LTU; резервна LTU для резервування плати STM-1

Продовження таблиці 5.2

1	2	3
13	LTU 13	2M LTU; 34/45M LTU; Fast Ethernet LTU; STM-1 LTU; резервна LTU
14	LTU 14	2M LTU; 34/45M LTU; Fast Ethernet LTU; STM-1 LTU; резервна LTU для резервування плати STM-1
15	LTU 15	2M LTU; 34/45M LTU; Fast Ethernet LTU; STM-1 LTU; резервна LTU для резервування плати STM-1
16	LTU 16	2M LTU; 34/45M LTU; Fast Ethernet LTU; STM-1 LTU; резервна LTU для резервування плати STM-1
17	Alarms & Aux LTU	Alarms & Aux LTU
18	Management & Sync LTU	Management & Sync LTU
19	Power LTU A	Power LTU
20	Power LTU B	Power LTU
21	Line 1	8 x STM-1; 2 x STM-4; 1 x STM-16; 16 портів Fast Ethernet; два порти Gigabit Ethernet; 6 x 34/45M
22	Line 2	
23	Trib 1	8 x STM-1; 2 x STM-4; 1 x STM-16; 16 портів Fast Ethernet; два порти Gigabit Ethernet; 6 x 34/45M
24	Trib 2 (2M#1)	8 x STM-1; 2 x STM-4; 1 x STM-16; 16 портів Fast Ethernet; два порти Gigabit Ethernet; 6 x 34/45M; 126 x 2M; 32 x 2M
25	Trib 3 (2M#2)	
26	Trib 4	8 x STM-1; 2 x STM-4; 1 x STM-16; 16 портів Fast Ethernet; два порти Gigabit Ethernet; 6 x 34/45M; 32 x 2M
27	Trib 5	
28	Switch A	Плата комутатора (128 x 128 STM-1)
29	Trib 6	8 x STM-1; 2 x STM-1/4; 1 x STM-16; 16 портів Fast Ethernet; два порти Gigabit Ethernet; 6 x 34/45M

Продовження таблиці 5.2

1	2	3
30	Switch B	Плата комутатора (128 x 128 STM-1)
31	Trib 7	8 x STM-1; 2 x STM-4; 1 x STM-16; 16 портів Fast Ethernet; два порти Gigabit Ethernet; 6 x 34/45M
32	Trib 8	
33	Trib 9	
34	Trib 10 (2M#3)	8 x STM-1; 2 x STM-4; 1 x STM-16; 16 портів Fast Ethernet; два порти Gigabit Ethernet; 6 x 34/45M; 126 x 2M; 32 x 2M
35	Trib 11 (2M#4)	
36	Trib 12 (2M резервування)	8 x STM-1; 2 x STM-4; 1 x STM-16; 16 портів Fast Ethernet; два порти Gigabit Ethernet; 6 x 34/45M; 32 x 2M; резервування плати 2M
37	Line 3	8 x STM-1; 2 x STM-4; 1 x STM-16; 16 портів Fast Ethernet; два порти Gigabit Ethernet; 6 x 34/45M
38	Line 4	
39	Аух (допоміжна)	для використання в наступних версіях
40	CCU A	CCU
41	CCU B	для резервування CCU у наступних версіях

У таблиці 5.3 наведено різні варіанти інтерфейсів модулів, які можуть бути використані.

Таблиця 5.3 – Інтерфейси модулів

Інтерфейси		
STM-1	STM-4	Gigabit Ethernet
Electrical S-1.1 L-1.1 L-1.2/L-1.3	S-4.1 L-4.1 L-4.2/L-4.3	1000Base-SX 1000Base-ZX 1000Base-LX/LH
STM-16	Fast Ethernet	
I-16.1 S-16.1 L-16.1 L-16.2/ L-16.3	100Base-FX Fast 0-11d Fast 11-26d	

Розподіл пропускної спроможності комутатора. Пропускна спроможність, доступна для різних слотів для плат передавання трафіка, залежить від установленної плати комутатора.

Пропускна спроможність, пов'язана з кожним зі слотів для плат передавання трафіка, становить 16 x STM-1. Однак при установленні комутатора 128 x 128 конфігурація полиці обмежена пропускною спроможністю, наявною в комутатора, і всі слоти не можуть мати виділюване їм значення STM-16. Наприклад, хоча кількість слотів дорівнює 16, може бути тільки вісім працюючих плат STM-16. Однак при застосуванні схеми резервування 1:1 MSP можуть бути використані всі 16 слотів (вісім працюючих і вісім резервних).

Резервування плат 2 Мбіт/с. Мультиплексор SMA1664 може підтримувати максимум 504 x 2М.

Працюючі плати 2М устанавлюються в трибутарні слоти 2, 3, 10 й 11. Резервування плати 2М підтримується з використанням трибутарної плати 2М (тільки порт 126) у слоті 12.

Резервування інших плат (за винятком 2М). Може підтримуватися гнучка схема 1 : N. Існують такі можливості резервування (наприклад 34М):

- одна група 1:15;
- вісім груп 1:1.

Може підтримуватися будь-яка інша комбінація в діапазоні між двома цими варіантами, однак необхідно враховувати, що максимальна кількість LTU дорівнює 16, тобто дві групи 1:7.

Слід зазначити, що для плат (передавання) даних резервування не забезпечується.

Забезпечення послуг зі швидкістю 2 Мбіт/с. Надання послуг зі швидкістю 2 Мбіт/с вимагає використання однієї або більше трибутарних плат PDH на 2 Мбіт/с, з кожною з яких зв'язаний один або більше LTU. Плата має стандартну конструкцію, і симетричні або несиметричні інтерфейси забезпечуються за рахунок використання LTU різних типів.

Взаємозв'язок між платами PDH на 2 Мбіт/с і зв'язаними з ними LTU зображено на рисунку 5.8. Номери показують, які порти знаходяться на різних LTU.

Зазначимо, що порти організовані дзеркально. Повнорозмірна полиця може підтримувати до 504 портів 2 Мбіт/с. Плата 2 Мбіт/с у слоті для трибутарних плат 12 забезпечує резервування плат за схемою 1 : N.

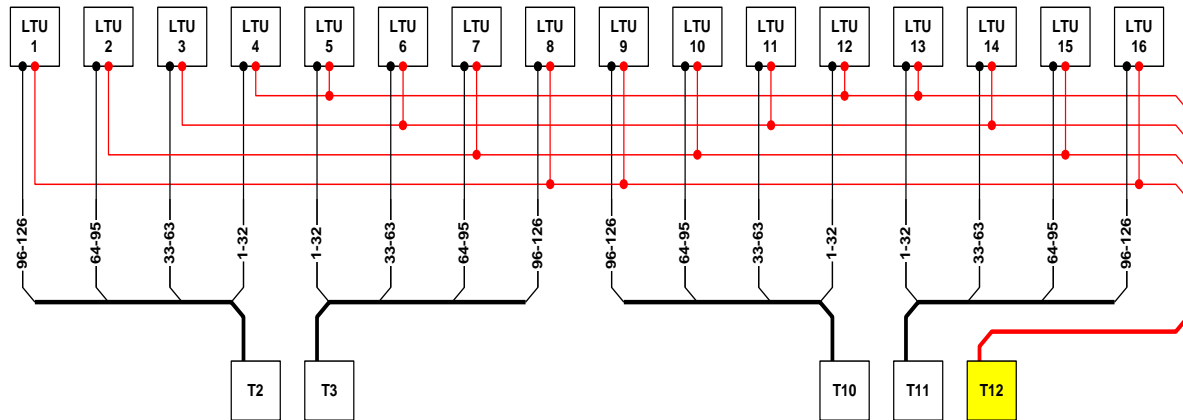


Рисунок 5.8 – Взаємозв'язок плат PDH на 2 Мбіт/с та LTU

Розміщення обладнання в стійках. Для установаження SMA1664 можуть використовуватися стійки двох різних типів. Це шафа 600 x 600 ETSI (рисунок 5.9) або стійка 600 x 300 ETSI, що відповідають ETS 300 119-2, і стійка 19".

Шафа і стійка ETSI мають такі розміри: висота стійки – 2200 мм; зовнішня ширина стійки – 600 мм (шафа ETSI) і 300 мм (стійка ETSI); глибина стійки – 600 (шафа ETSI) або 300 мм (стійка ETSI). Висота прорізу для розміщення обладнання – 2000 мм.

Конструкція стійки/шафи дозволяє направляти кабелі, що йдуть до обладнання зв'язку, або по спеціальних, підтримуючих кабель, конструкціях, або під фальшпідлогою. Тобто доступ для введення кабелю забезпечується як зверху, так і знизу стійки/шафи.

Хоча на стійку можна встановити дві касети, це можна, тільки якщо не встановлюється полиця для оброблення волокна.

Якщо існує вимога забезпечити велику кількість закінчень для PDH, то небажано встановлювати на одну полицю дві касети через високу щільність кабелів і велику тепловіддачу.

Стійки 19" мають такі розміри: висота – 2200 мм; ширина – 600 мм; глибина – 300 мм.

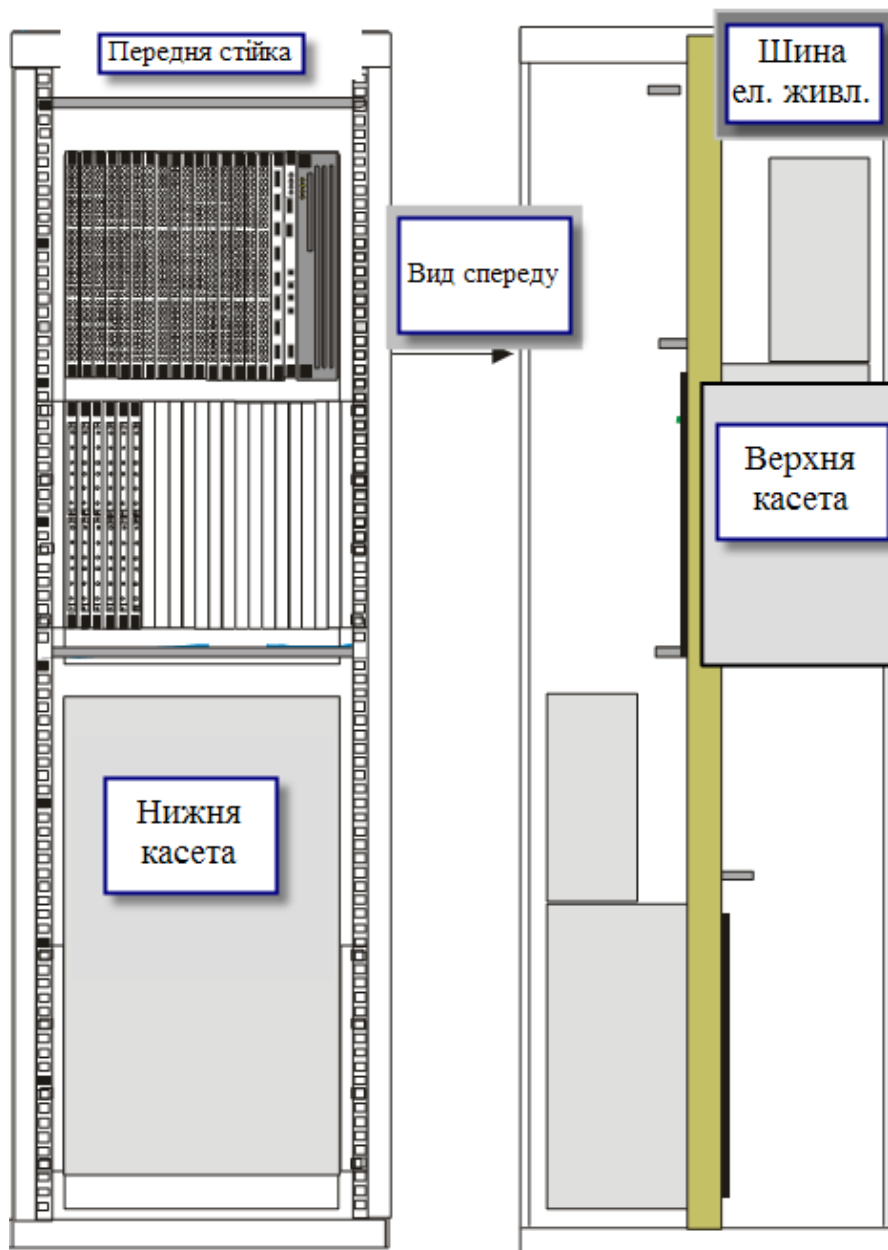


Рисунок 5.9 – Шафа й касета ETSI

5.3 Приклади типових конфігурацій мультиплексора SMA1664

1 Крос-конект STM-16: до 8 портів STM-16 (рисунок 5.10).

Лінійні/трибутарні плати STM-16 можуть установлюватися в кожному з 16 слотів у нижньому ряді стандартної полиці. Існує більше восьми слотів, однак тільки вісім (максимально) робочих плат можуть установлюватися в кожному з 16 слотів. Обмежуючим фактором є ємність TDM комутатора 128 x 128 STM-1. На рисунку 5.9 наведено приклад, коли для установлення

трибутарних плат використовуються позиції 21-24 і 35-38. Обмежуючим фактором є ємність TDM комутатора 128 x 128 STM-1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19			
																			Power LTU A		
																			Pwr A		
																			20		
																			Power LTU B		
																			Pwr B		
LTU 1	LTU 2	LTU 3	LTU 4	LTU 5	LTU 6	LTU 7	LTU 8	LTU 9	LTU 10	LTU 11	LTU 12	LTU 13	LTU 14	LTU 15	LTU 16	Alm LTU	Mgt LTU				
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	
STM-16 (1 порт)	STM-16 (1 порт)	STM-16 (1 порт)	STM-16 (1 порт)				Switch A		Switch B					STM-16 (1 порт)	STM-16 (1 порт)	STM-16 (1 порт)	STM-16 (1 порт)	Aux (допоміжний слот)			
32	32	16	16	16	32	32		16		32	32	16	16	16	16	32	32				
L1	L2	T1	T2	T3	T4	T5	SA	T6	SB	T7	T8	T9	T10	T11	T12	L3	L4	Aux	CCU A	CCU B	
Fan Tray																					

Рисунок 5.10 – Крос-конект STM-16: до 8 портів STM-16

Трибутарні плати STM-1 можна встановлювати в кожному з 16 слотів у нижньому ряді стандартної полиці.

Фактором, що обмежує кількість портів STM-1 на стандартній полиці, є кількість наявних слотів і ємність TDM комутатора (тобто 16 слотів x 8 портів STM-1 = 128 портів STM-1).

З Крос-конект STM-16: до 504 портів на 2 Мбіт/с (рисунок 5.12).

Трибутарні плати 2 Мбіт/с можна встановлювати тільки в слоти 24, 25, 34 або 35 нижнього ряду. Резервна трибутарна плата встановлюється в слот 36. Кожній трибутарній платі може бути виділено до 4 LTU. На рисунку 5.12 показано позиції трибутарних плат відносно LTU.

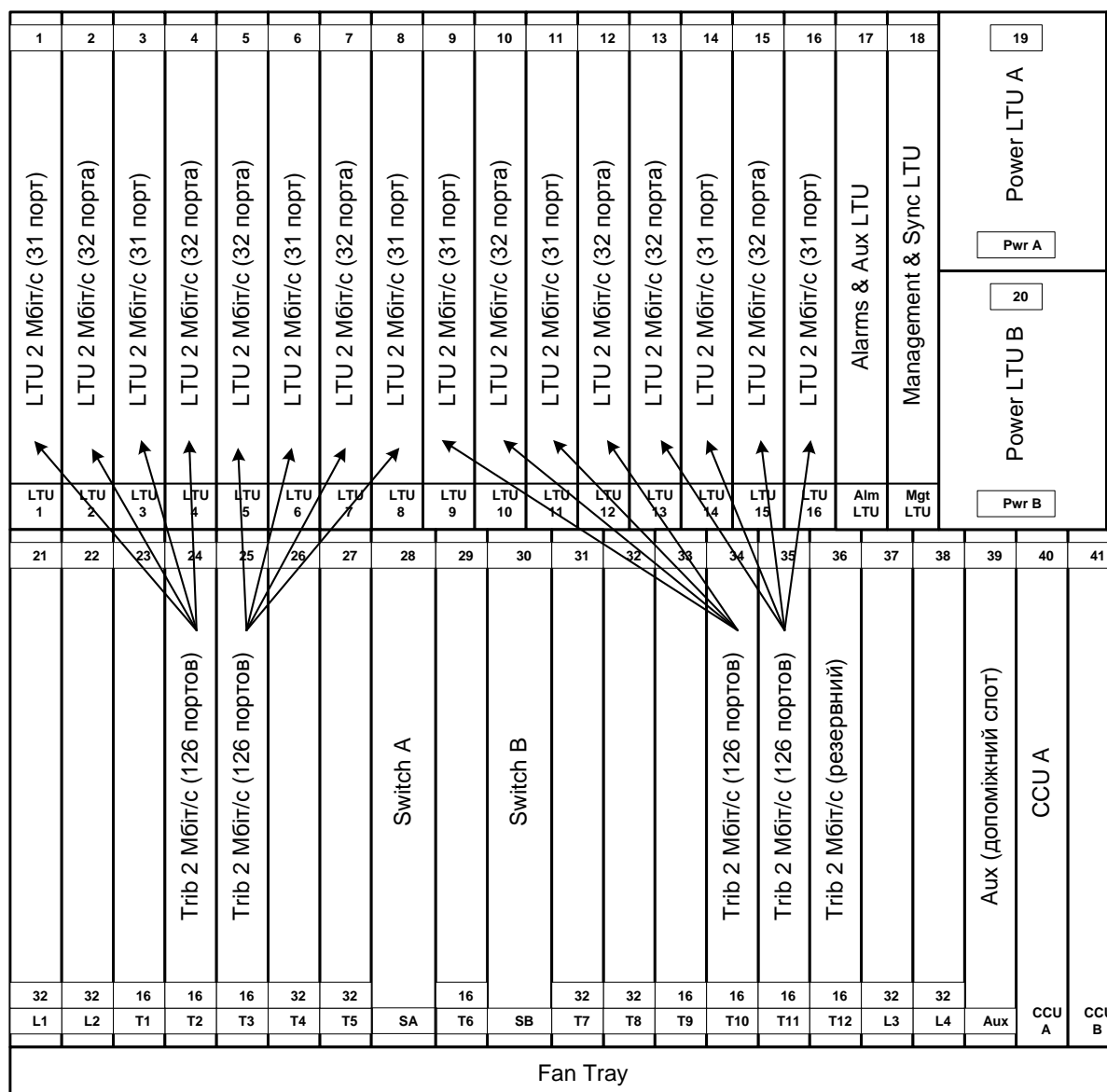


Рисунок 5.12 – Крос-конект STM-16: до 504 портів на 2 Мбіт/с

4 Резервування трибутарних плат STM-1 - 1:1 MSP.

На випадок відмови однієї з n працюючих трибутарних плат STM-1 забезпечується резервування з використанням однієї резервної трибутарної плати STM-1 і резервної LTU. Резервна трибутарна плата STM-1 установлюється праворуч від працюючих трибутарних плат STM-1 разом зі зв'язаним з нею резервною LTU.

У випадку відмови однієї робочої трибутарної плати STM-1 резервна трибутарна плата бере на себе обробку сигналів, що раніше проходять через цю робочу плату. Резервна LTU маршрутизує сигнали резервної трибутарної плати до плати LTU, що відповідає працюючій трибутарній платі, яка вийшла з ладу і в цей момент виведена з експлуатації.

5 Мультиплексор уведення/виведення STM-16: до 128 портів STM-1 (рисунок 5.13).

На рисунку 5.13 показано конфігурацію з трибутарними платами STM-1/платами LTU і двома лінійними платами. Можуть бути використані порти STM-1 з різними інтерфейсами (таблиця 5.4).

Таблиця 5.4 – Залежність кількості портів STM-1 від установлених плат STM-16

Плати STM-16	Кількість лінійних портів	Необхідні слоти	Наявні слоти (трибутарні та LTU)	Кількість портів STM-1
0	0	0	16	128 ^{1,2}
1	1	1	15	112 ²
2	2	2	14	96 ²
3	3	3	13	80 ²
4	4	4	12	64 ²

Примітка – фактори, що обмежують кількість портів STM-1: 1 – наявні слоти для трибутарних плат і плат LTU; 2 – ємність TDM комутатора, що дорівнює 128 x 128 STM-1

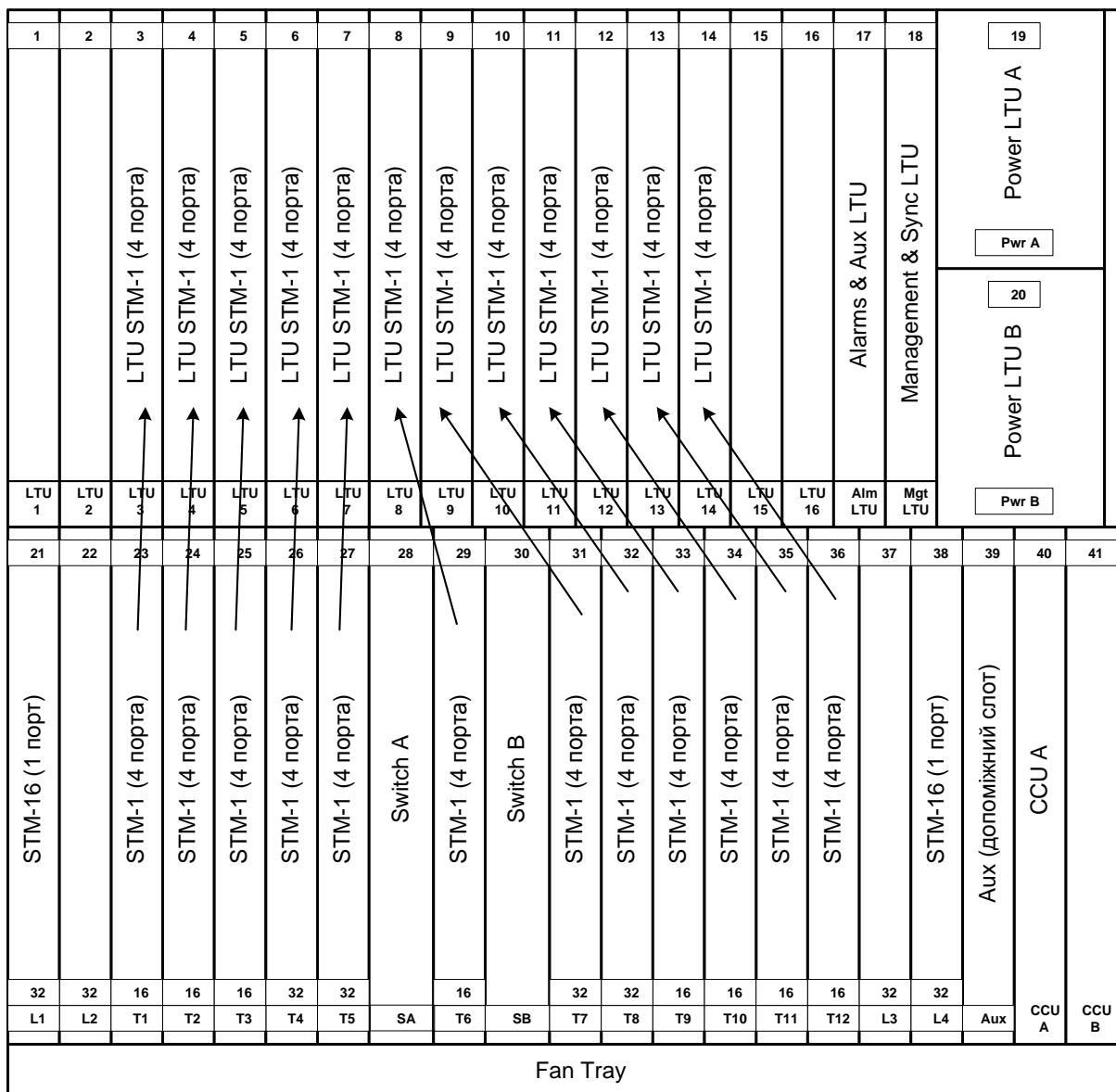


Рисунок 5.13 – Мультиплексор уведення/виведення STM-16: до 128 портів STM-1

6 Мультиплексор уведення/виведення STM-16: до 504 портів 2 Мбіт/с (рисунок 5.14).

Наведена конфігурація є прикладом стандартної полиці SMA1664 з чотирма лінійними платами, чотирма трибутарними платами й 16 платами LTU. Трибутарні плати 2 Мбіт/с можуть установлюватися тільки в слоти 24, 25, 34, 35 нижнього ряду. Резервна трибутарна плата встановлюється в слот 16. Кожній трибутарній платі може бути виділено чотири LTU. На рисунку 5.14 показані позиції трибутарних плат відносно позицій LTU.

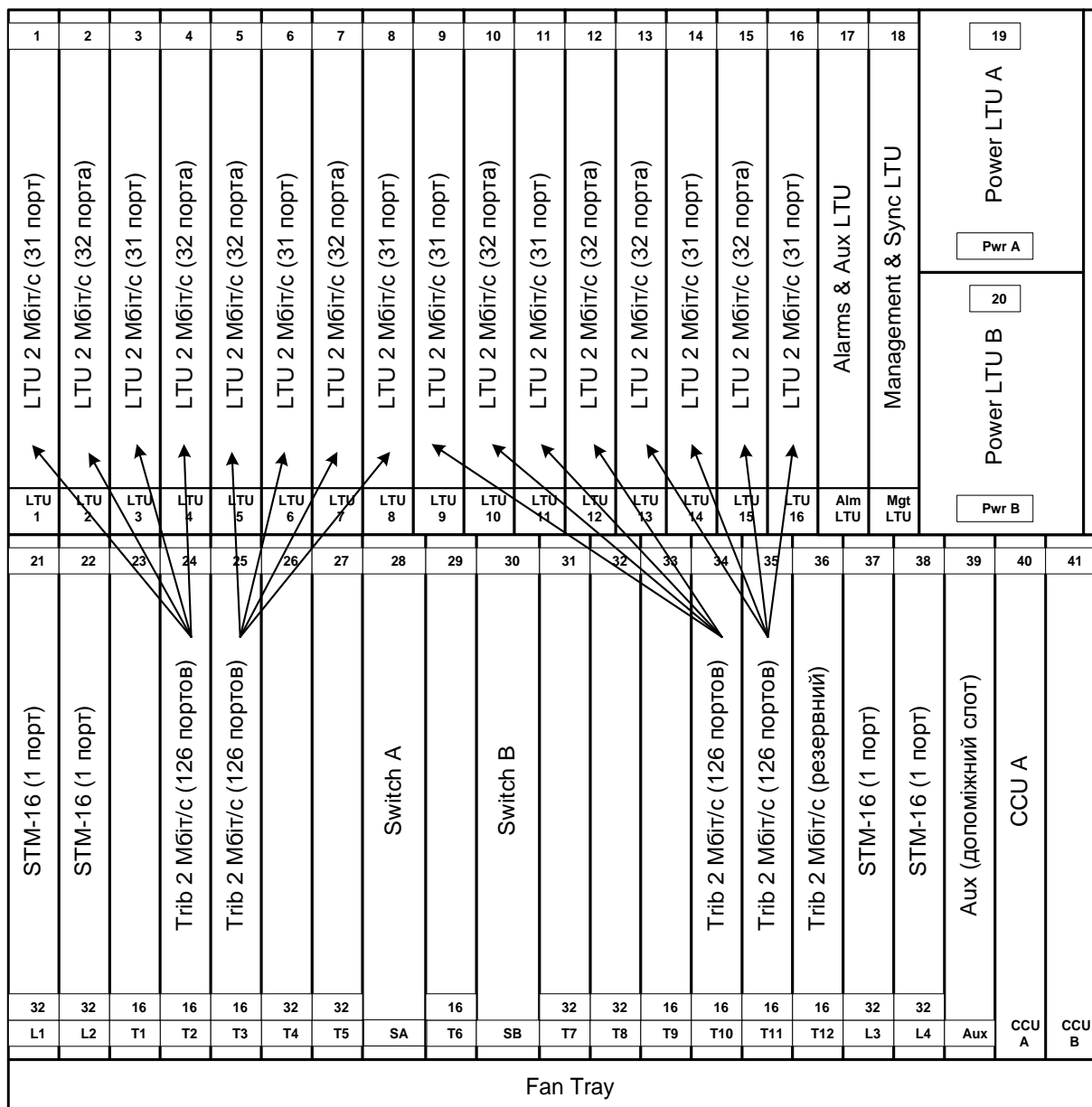


Рисунок 5.14 – Мультиплексор уведення/виведення STM-16:
до 504 портів 2 Мбіт/с

6 РОЗРАХУНОК ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ ЛІНІЙНОГО ТРАКТУ

Перед проведенням розрахунків розглянемо основні поняття теорії надійності. Під *надійністю системи* слід розуміти її спроможність виконувати задані функції з заданою якістю протягом деякого проміжку часу за певних умов.

Надійність є комплексною властивістю, що залежно від призначення об'єкта може включати безвідмовність, ремонтпридатність і довговічність або сполучення цих властивостей. Термін «надійність» використовується тільки для описів загального характеру в не кількісному вираженні.

Відмова – подія, що полягає в припиненні спроможності об'єкта виконувати необхідну функцію. Після відмови об'єкт переходить у непрацездатний стан.

Працездатний стан – стан об'єкта, при якому значення всіх параметрів, що характеризують спроможність виконувати задані функції, відповідають вимогам нормативно-технічної й/або проектної документації.

Непрацездатний стан – стан об'єкта, при якому значення хоча б одного параметра, що характеризує спроможність виконувати задані функції, не відповідає вимогам нормативно-технічної й/або проектної документації.

Напрацювання – тривалість або обсяг роботи об'єкта, обмірювані в будь-яких незменшувальних величинах.

Показник надійності – кількісна характеристика однієї або декількох властивостей, що складають надійність об'єкта.

При курсовому проектуванні будемо використовувати такі показники надійності:

а) показники безвідмовності:

– *середнє напрацювання на відмову* – математичне очікування часу роботи поновлюваного об'єкта між відмовами;

– *параметр потоку відмов* – відношення середньої кількості відмов поновлюваного об'єкта за довільно мале його напрацювання до значення цього напрацювання;

– *середній час відновлення* – математичне очікування часу відновлення працездатного стану об'єкта після відмови;

– *інтенсивність відмов* – умовна щільність імовірності виникнення відмови об'єкта, яка визначається за умови того, що до розглянутого моменту часу відмова не виникла;

– *середнє напрацювання до відмови* – математичне очікування часу роботи об'єкта до першої відмови;

– *імовірність безвідмовної роботи* – імовірність того, що в межах заданого напрацювання відмова об'єкта не виникне;

б) *показник експлуатаційної готовності*:

– *коефіцієнт готовності* – імовірність того, що об'єкт виявиться в працездатному стані в довільний момент часу, крім запланованих періодів, протягом яких застосування об'єкта за призначенням не передбачається.

Під час курсового проектування мають бути оцінені показники надійності шляхом побудови структурної схеми надійності лінійного тракту, розрахунку коефіцієнта готовності K_r і середнього часу відновлення T_v з урахуванням резервування за вихідним даними про надійність складових частин обладнання.

При проектуванні мають бути задані вимоги з надійності:

– коефіцієнт готовності K_r ;

– середній час між відмовами (середнє напрацювання на відмову) $T_{\text{сер сист}}$;

– середній час відновлення T_v .

Проектована система належить до відновлюваних систем, у яких відмови можна усувати. За теорією надійності відмови розглядаються як випадкові події.

Імовірність безвідмовної роботи за проміжок часу t визначається як

$$P(t) = e^{-\omega t},$$

де ω – параметр потоку відмов, значення якого при застосуванні типових елементів заміни приблизно дорівнює інтенсивності відмов λ ($\omega \cong \lambda$), 1/год.

Середній час безвідмовної роботи в період нормальної експлуатації (середнє напрацювання на відмову) визначається як

$$T_{\text{сер}} = \frac{1}{\omega}. \quad (6.1)$$

Оцінимо ймовірність безвідмовної роботи деякої системи, що складається з множини різнотипних елементів. Нехай $p_1(t)$, $p_2(t), \dots, p_n(t)$ – імовірності безвідмовної роботи кожного елемента на інтервалі часу $0 \dots t$; n – кількість елементів у системі.

Якщо відмови окремих елементів системи відбуваються незалежно, а відмова хоча б одного елемента веде до відмови всієї системи, то в цьому випадку в теорії надійності вважається, що такі елементи з'єднані послідовно. Імовірність безвідмовної роботи системи з n послідовно з'єднаними елементами на інтервалі часу $0 \dots t$ дорівнює добутку ймовірностей безвідмовної роботи окремих її елементів:

$$P_{\text{посл}}(t) = \prod_{i=1}^n p_i(t) = \prod_{i=1}^n e^{-\lambda_i t} = e^{-\Lambda t}, \quad (6.2)$$

де Λ – інтенсивність відмов всієї системи, 1/год, $\Lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i$;

λ_i – інтенсивність відмови i -го елемента, 1/год.

Середній час безвідмовної роботи системи визначається як, год,

$$T_{\text{сер сист}} = \frac{1}{\Lambda}. \quad (6.3)$$

Якщо відмови окремих елементів відбуваються незалежно, а до відмови всієї системи призводить відмова всіх її елементів, то в цьому випадку в теорії надійності вважається, що такі елементи з'єднані паралельно (випадок використання резервування). Імовірність безвідмовної роботи системи з k паралельно з'єднаних елементів визначається виразом

$$P_{\text{парал}}(t) = 1 - \prod_{i=1}^k (1 - p_i(t)). \quad (6.4)$$

До основних показників надійності відновлюваних систем належить коефіцієнт готовності, що визначається за формулою

$$K_{\Gamma} = \frac{T_{\text{сер}}}{T_{\text{сер}} + T_{\text{в}}}, \quad (6.5)$$

де $T_{\text{в}}$ – середній час відновлення елемента (системи).

Для послідовного з'єднання з надійності n елементів системи (наприклад ділянок магістралі або окремих видів обладнання) загальний коефіцієнт готовності дорівнює

$$K_{\Gamma} = \prod_{i=1}^n K_{\Gamma i}, \quad (6.6)$$

де $K_{\Gamma i}$ – коефіцієнти готовності окремих елементів системи передачі (наприклад апаратури і кабелю).

При паралельному з'єднанні з надійності елементів системи передачі (наприклад лінійних трактів) для випадку кільцевої структури зв'язку (на один робочий тракт припадає один резервний) загальний коефіцієнт готовності визначається як

$$K_{\Gamma \text{рез}} = 1 - (1 - K_{\Gamma 1})(1 - K_{\Gamma 2}), \quad (6.7)$$

де $K_{\Gamma 1}$, $K_{\Gamma 2}$ – коефіцієнти готовності робочого й резервного трактів.

Розглянемо спосіб визначення надійності лінійного тракту. Вихідними даними для розрахунку показників надійності мають бути:

- довжина волоконно-оптичного кабелю;
- кількість ОРП (мультиплексорів), НРП (регенераторів);
- інтенсивність відмов 1 км оптичного кабелю – $\lambda_{\text{ок}} = 3,88 \cdot 10^{-7}$ 1/год. (визначається за статистичними даними);
- інтенсивність відмов або напрацювання на відмову ОРП (мультиплексорів), НРП (регенераторів);

– час відновлення НРП, ОРП й оптичного кабелю.

Шлях між вузлами мережі задамо як упорядковану послідовність елементів (оптоволоконний кабель, НРП, ОРП), кожний з яких характеризується своїми показниками надійності. Оскільки відмови в загальному випадку відбуваються незалежно, то для визначення надійності лінійного тракту можна використовувати формулу (6.2) для послідовного з'єднання елементів.

Інтенсивність відмов лінійного тракту визначають як суму інтенсивностей відмов НРП, ОРП й оптичного кабелю:

$$A = n_{\text{НРП}} \lambda_{\text{НРП}} + n_{\text{ОРП}} \lambda_{\text{ОРП}} + L \lambda_{\text{ок}}, \quad (6.8)$$

де $\lambda_{\text{НРП}}$, $\lambda_{\text{ОРП}}$ – інтенсивності відмов НРП й ОРП;

$n_{\text{НРП}}$, $n_{\text{ОРП}}$ – кількість НРП й ОРП;

$\lambda_{\text{ок}}$ – інтенсивність відмов 1 км кабелю;

L – довжина оптичного кабелю.

У випадку завдання для НРП й ОРП напрацювання на відмову інтенсивності відмов визначаються як

$$\lambda_{\text{ОРП}} = \frac{1}{T_{\text{сер ОРП}}}; \quad \lambda_{\text{НРП}} = \frac{1}{T_{\text{сер НРП}}},$$

де $T_{\text{сер ОРП}}$, $T_{\text{сер НРП}}$ – напрацювання на відмову ОРП і НРП відповідно.

Для визначення коефіцієнта готовності попередньо знайдемо середній час відновлення зв'язку за формулою

$$T_{\text{в}} = \frac{n_{\text{НРП}} \lambda_{\text{НРП}} t_{\text{в НРП}} + n_{\text{ОРП}} \lambda_{\text{ОРП}} t_{\text{в ОРП}} + L \lambda_{\text{ок}} t_{\text{в ок}}}{A}, \quad (6.9)$$

де $t_{\text{в НРП}}$, $t_{\text{в ОРП}}$, $t_{\text{в ок}}$ – час відновлення відповідно НРП, ОРП й оптичного кабелю.

Коефіцієнт готовності знаходимо за формулою (6.5).

Норми на показники надійності, прийняті для курсового проектування. Необхідні показники надійності для місцевих, внутрішньозонових і магістральної телекомунікаційних мереж з максимальною довжиною L_M (без резервування) наведені в таблицях 6.1, 6.2, 6.3.

При довжині каналу (магістралі) L , що не дорівнює L_M , середній час між відмовами визначається як

$$T_{\text{cp}}(L) = T_{\text{cp}} \frac{L_M}{L}. \quad (6.10)$$

Таблиця 6.1 – Показники надійності для місцевої телекомунікаційної мережі, $L_M = 200$ км

Показник надійності	Апаратура лінійного тракту
Коефіцієнт готовності	0,9987
Середній час між відмовами, год	> 2500
Час відновлення, год	див. примітку до таблиці 6.3

Таблиця 6.2 – Показники надійності для внутрішньозонової телекомунікаційної мережі, $L_M = 1\,400$ км

Показник надійності	Апаратура лінійного тракту
Коефіцієнт готовності	0,99
Середній час між відмовами, год	> 350
Час відновлення, год	див. примітку до таблиці 6.3

Таблиця 6.3 – Показники надійності для магістральної телекомунікаційної мережі, $L_M = 12\,500$ км

Показник надійності	Апаратура лінійного тракту
Коефіцієнт готовності	0,92
Середній час між відмовами, год	> 40
Час відновлення, год	див. примітку
Примітка – для устаткування лінійних трактів має бути: час відновлення НРП – $T_{\text{в нрп}} < 2,5$ год (у тому числі час під'їзду – 2 год); час відновлення ОРП, ОП – $T_{\text{в орп}} < 0,5$ год; час відновлення оптичного кабелю – $T_{\text{в ок}} < 10$ год (у тому числі час під'їзду – 3,5 год)	

Приклад 1. Розрахуємо показники надійності для лінійного тракту магістральної телекомунікаційної мережі, що складається із чотирьох послідовно з'єднаних сегментів кабелю загальною довжиною 246 км, трьох НРП і двох мультиплексорів (ОРП) у вузлах D і С (приклад з розділу 2).

Напрацювання на відмову для мультиплексорів (ОРП) становить 60 000 год, для НРП – 87 000 год. Інтенсивність відмов 1 км оптичного кабелю – $\lambda_{ок} = 3,88 \cdot 10^{-7}$ 1/год. Середній час відновлення для мультиплексорів (таблиця 6.3) – 0,5 год, для НРП – 2,5 год, для оптичного кабелю – 10 год.

Схема надійності лінійного тракту наведена на рисунку 6.1.

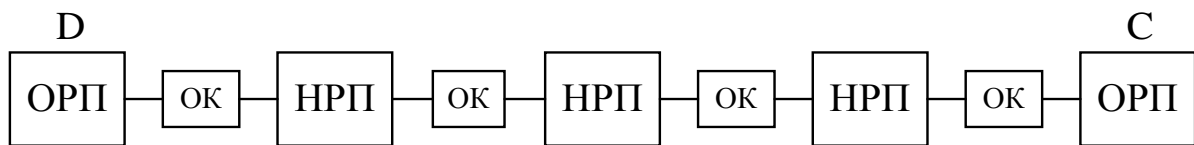


Рисунок 6.1 – Схема надійності лінійного тракту без резервування

1 Оскільки для НРП й ОРП задано напрацювання на відмову, то визначаємо інтенсивності відмов:

$$\lambda_{ОРП} = \frac{1}{60\,000} = 1,67 \cdot 10^{-5} \text{ 1/год}; \quad \lambda_{НРП} = \frac{1}{87\,000} = 1,15 \cdot 10^{-5} \text{ 1/год.}$$

2 Розраховуємо інтенсивність відмов лінійного тракту:

$$\begin{aligned} A &= n_{НРП} \lambda_{НРП} + n_{ОРП} \lambda_{ОРП} + L \lambda_{ок} = \\ &= 3 \cdot 1,15 \cdot 10^{-5} + 2 \cdot 1,67 \cdot 10^{-5} + 246 \cdot 3,88 \cdot 10^{-7} = \\ &= 3,45 \cdot 10^{-5} + 3,34 \cdot 10^{-5} + 9,54 \cdot 10^{-5} = 1,63 \cdot 10^{-4} \text{ 1/год.} \end{aligned}$$

3 Визначаємо середній час безвідмовної роботи лінійного тракту:

$$T_{\text{сер сист}} = \frac{1}{A} = \frac{1}{1,63 \cdot 10^{-4}} = 6134,97 \text{ год.}$$

4 Розраховуємо коефіцієнт готовності, попередньо знайшовши середній час відновлення:

$$\begin{aligned}
 T_{\text{в}} &= \frac{n_{\text{НРП}} \lambda_{\text{НРП}} t_{\text{в НРП}} + n_{\text{ОРП}} \lambda_{\text{ОРП}} t_{\text{в ОРП}} + L \lambda_{\text{ок}} t_{\text{в ок}}}{A} = \\
 &= \frac{3 \cdot 1,15 \cdot 10^{-5} \cdot 2,5 + 2 \cdot 1,67 \cdot 10^{-5} \cdot 0,5 + 246 \cdot 3,88 \cdot 10^{-7} \cdot 10}{1,63 \cdot 10^{-4}} = \\
 &= \frac{8,63 \cdot 10^{-5} + 1,67 \cdot 10^{-5} + 95,45 \cdot 10^{-5}}{1,63 \cdot 10^{-4}} = 6,49 \text{ год.} \\
 K_{\text{г}} &= \frac{T_{\text{сер сист}}}{T_{\text{сер сист}} + T_{\text{в}}} = \frac{6134,97}{6134,97 + 6,49} = \frac{6134,97}{6141,46} = 0,99894.
 \end{aligned}$$

5 Оскільки довжина каналу (магістралі) $L = 246$ км і не дорівнює $L_{\text{М}} = 12\,500$ км (таблиця 6.3), то припустиме значення середнього часу між відмовами визначається як

$$T_{\text{ср}}(246) = T_{\text{ср}} \frac{L_{\text{М}}}{L} = 40 \cdot \frac{12\,500}{246} = 2032,5 \text{ год.}$$

На основі порівняння розрахованих показників надійності з установленими нормами (таблиця 6.3) можна зробити висновок, що розраховані показники надійності лінійного тракту повністю відповідають заданим вимогам.

Приклад 2. Для прикладу 1 розрахуємо показники надійності з урахуванням резервування 1+1 по рознесених трактах. Як резервний обрано маршрут D – B – A – C (рисунок 6.2). Довжина сегмента DB – 126 км, BA – 90 км, AC – 150 км.

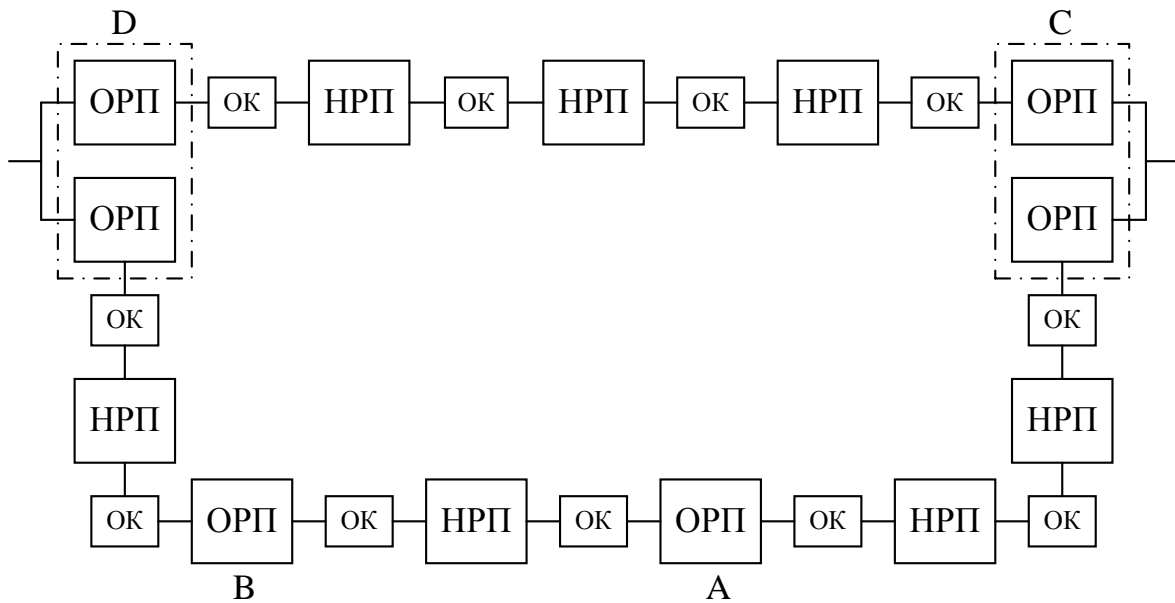


Рисунок 6.2 – Схема надійності лінійного тракту з резервуванням

1 Спочатку необхідно розрахувати кількість НРП на сегментах мережі:

$$N_{\text{НРП DB}} = \left\lceil \frac{L_{\text{DB}}}{L_{\text{рд}}} \right\rceil - 1 = 1;$$

$$N_{\text{НРП BA}} = \left\lceil \frac{L_{\text{BA}}}{L_{\text{рд}}} \right\rceil - 1 = 1;$$

$$N_{\text{НРП AC}} = \left\lceil \frac{L_{\text{AC}}}{L_{\text{рд}}} \right\rceil - 1 = 2.$$

Таким чином, для резервного тракту маємо загальну довжину $L = 366$ км, $n_{\text{НРП}} = 4$, $n_{\text{ОРП}} = 4$. Всі інші параметри такі самі, як у попередньому прикладі.

2 Розраховуємо інтенсивність відмов лінійного тракту:

$$\begin{aligned} \Lambda &= n_{\text{НРП}} \lambda_{\text{НРП}} + n_{\text{ОРП}} \lambda_{\text{ОРП}} + L \lambda_{\text{ок}} = \\ &= 4 \cdot 1,15 \cdot 10^{-5} + 4 \cdot 1,67 \cdot 10^{-5} + 366 \cdot 3,88 \cdot 10^{-7} = \\ &= 4,6 \cdot 10^{-5} + 6,68 \cdot 10^{-5} + 14,2 \cdot 10^{-5} = 2,55 \cdot 10^{-4} \text{ 1/год.} \end{aligned}$$

3 Визначаємо середній час безвідмовної роботи:

$$T_{\text{сер сист}} = \frac{1}{A} = \frac{1}{2,55 \cdot 10^{-4}} = 3921,57 \text{ год.}$$

4 Розраховуємо коефіцієнт готовності, попередньо знайшовши середній час відновлення:

$$\begin{aligned} T_{\text{в}} &= \frac{n_{\text{НРП}} \lambda_{\text{НРП}} t_{\text{в НРП}} + n_{\text{ОРП}} \lambda_{\text{ОРП}} t_{\text{в ОРП}} + L \lambda_{\text{ок}} t_{\text{в ок}}}{A} = \\ &= \frac{4,6 \cdot 10^{-5} \cdot 2,5 + 6,68 \cdot 10^{-5} \cdot 0,5 + 14,2 \cdot 10^{-5} \cdot 10}{2,55 \cdot 10^{-4}} = \\ &= \frac{11,5 \cdot 10^{-5} + 3,34 \cdot 10^{-5} + 142 \cdot 10^{-5}}{2,55 \cdot 10^{-4}} = 6,15 \text{ год.} \\ K_{\text{г}} &= \frac{T_{\text{сер сист}}}{T_{\text{сер сист}} + T_{\text{в}}} = \frac{3921,57}{3921,57 + 6,15} = \frac{3921,57}{3927,72} = 0,99843. \end{aligned}$$

5 Розраховуємо коефіцієнт готовності тракту між вузлами D і C з урахуванням резервування за схемою 1+1 по рознесених трактах:

$$\begin{aligned} K_{\text{г рез}} &= 1 - (1 - K_{\text{г1}})(1 - K_{\text{г2}}) = 1 - (1 - 0,99894)(1 - 0,99843) = \\ &= 1 - 0,00106 \cdot 0,00157 = 0,999998. \end{aligned}$$

Таким чином, з отриманих результатів можна зробити висновок, що застосування резервування по рознесених трактах дозволяє значно збільшити коефіцієнт готовності.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1 Коновалов Є. В., Козар Л. М. Методичний посібник з додержання вимог нормоконтролю у студентській навчальній звітності. Харків : УкрДАЗТ, 2004. 38 с.

2 ITU-T Recommendation G.957 (03/2006). Optical interfaces for equipments and systems relating to the synchronous digital hierarchy. Geneva, 2006. 38 p.

3 ITU-T Recommendation G.652 (11/2016). Characteristics of a single-mode optical fibre and cable. Geneva, 2017. 28 p.

4 ITU-T Recommendation G.653 (07/2010). Characteristics of a dispersion-shifted, single-mode optical fibre and cable. Geneva, 2017. 22 p.

5 ITU-T Recommendation G.654 (11/2016). Characteristics of a 1550 nm wavelength loss-minimized single-mode optical fibre cable. Geneva, 2017. 24 p.

6 ITU-T Recommendation G.654 (11/2009). Characteristics of a non-zero dispersion-shifted single-mode optical fibre and cable. Geneva, 2010. 18 p.

7 Приходько С. І., Жученко О. С., Сєверінов О. В., Усачов О. М. Цифрові системи передачі, комутації та управління : навч. посіб. Харків : УкрДАЗТ, 2007. 220 с. Електронна версія.

8 Мешковський К. О., Бондаренко В. Г., Біла М. О., Чупенко А. О., Павелко І. П. Синхронні цифрові мережі СЦ. Технології і структура WDM системи : навч. посіб. Київ : ДУІКТ, 2009. 130 с.

9 Манько О. О., Бондар В. В., Бондаренко Т. Г. Високошвидкісні засоби оптичного та бездротового зв'язку : навч. посіб. Київ : ДУТ, 2015. 46 с.

10 Микитишин А. Г., Митник М. М., Стухляк П. Д. Телекомунікаційні системи та мережі : навч. посіб. Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2017. 384 с.

ДОДАТОК А

Варіанти завдань для курсового проектування

Для кожного варіанта завдання заповнена тільки одна половина таблиці. Друга половина заповнюється з розрахунку, що відстані та цифрові потоки між вузлами А і В, км, дорівнюють тим самим значенням, що і між вузлами В і А.

Варіант 1

Таблиця А.1 – Відстань між вузлами проектованої мережі

Вузол мережі	А	В	С	Д	Е	Ф
А	–					
В	22	–				
С	37	45	–			
Д	52	31	60	–		
Е	117	63	30	54	–	
Ф	70	60	55	31	33	–

Таблиця А.2 – Розподіл цифрових потоків 2 Мбіт/с за напрямками зв'язку

Вузол	А	В	С	Д	Е	Ф
А	–					
В	40	–				
С	32	40	–			
Д	48	40	60	–		
Е	10	3	4	8	–	
Ф	4	8	20	25	14	–

- 1 Будівельна довжина волоконно-оптичного кабелю – 2 км.
- 2 Ширина спектра джерела випромінювання – 0,7 нм.
- 3 Експлуатаційний запас – 6 дБ.
- 4 Втрати в рознімних з'єднаннях – 0,7 дБ.
- 5 Кількість рознімних з'єднань – 2.
- 6 Втрати в нерознімних з'єднаннях – 0,03 дБ.
- 7 Напрацювання на відмову мультиплексорів – 50 000 год.
- 8 Напрацювання на відмову регенераторів – 60 000 год.
- 9 Інтенсивність відмов 1 км оптичного кабелю – $3,88 \cdot 10^{-7}$ 1/год.

Варіант 2

Таблиця А.3 – Відстань між вузлами проектованої мережі

Вузол мережі	А	В	С	Д	Е	Ф
А	–					
В	9	–				
С	15	21	–			
Д	22	13	25	–		
Е	24	28	12	26	–	
Ф	27	24	23	20	14	–

Таблиця А.4 – Розподіл цифрових потоків 2 Мбіт/с за напрямками зв'язку

Вузол	А	В	С	Д	Е	Ф
А	–					
В	20	–				
С	32	60	–			
Д	45	40	28	–		
Е	80	20	30	32	–	
Ф	40	30	32	43	60	–

- 1 Будівельна довжина волоконно-оптичного кабелю – 2 км.
- 2 Ширина спектра джерела випромінювання – 1 нм.
- 3 Експлуатаційний запас – 5 дБ.
- 4 Втрати в рознімних з'єднаннях – 0,5 дБ.
- 5 Кількість рознімних з'єднань – 2.
- 6 Втрати в нерознімних з'єднаннях – 0,04 дБ.
- 7 Напрацювання на відмову мультиплексорів – 50 000 год.
- 8 Напрацювання на відмову регенераторів – 65 000 год.
- 9 Інтенсивність відмов 1 км оптичного кабелю – $3,88 \cdot 10^{-7}$ 1/год.

Варіант 3

Таблиця А.5 – Відстань між вузлами проектованої мережі

Вузол мережі	А	В	С	Д	Е	F
А	–					
В	180	–				
С	150	21	–			
Д	210	13	28	–		
Е	234	28	30	26	–	
F	270	24	32	20	14	–

Таблиця А.6 – Розподіл цифрових потоків 2 Мбіт/с за напрямками зв'язку

Вузол	А	В	С	Д	Е	F
А	–					
В	70	–				
С	61	90	–			
Д	24	20	28	–		
Е	84	52	29	62	–	
F	20	30	40	60	50	–

- 1 Будівельна довжина волоконно-оптичного кабелю – 4 км.
- 2 Ширина спектра джерела випромінювання – 0,3 нм.
- 3 Експлуатаційний запас – 6 дБ.
- 4 Втрати в рознімних з'єднаннях – 0,9 дБ.
- 5 Кількість рознімних з'єднань – 2.
- 6 Втрати в нерознімних з'єднаннях – 0,035 дБ.
- 7 Напрацювання на відмову мультиплексорів – 80 000 год.
- 8 Напрацювання на відмову регенераторів – 90 000 год.
- 9 Інтенсивність відмов 1 км оптичного кабелю – $3,88 \cdot 10^{-7}$ 1/год.

Варіант 4

Таблиця А.7 – Відстань між вузлами проектованої мережі

Вузол мережі	А	В	С	Д	Е	F
А	–					
В	30	–				
С	40	50	–			
Д	28	55	48	–		
Е	23	42	33	26	–	
F	46	34	65	52	39	–

Таблиця А.8 – Розподіл цифрових потоків 2 Мбіт/с за напрямками зв'язку

Вузол	А	В	С	Д	Е	F
А	–					
В	90	–				
С	80	155	–			
Д	120	110	139	–		
Е	20	10	10	30	–	
F	12	20	41	40	25	–

- 1 Будівельна довжина волоконно-оптичного кабелю – 2 км.
- 2 Ширина спектра джерела випромінювання – 0,5 нм.
- 3 Експлуатаційний запас – 6 дБ.
- 4 Втрати в рознімних з'єднаннях – 0,75 дБ.
- 5 Кількість рознімних з'єднань – 2.
- 6 Втрати в нерознімних з'єднаннях – 0,054 дБ.
- 7 Напрацювання на відмову мультиплексорів – 52 000 год.
- 8 Напрацювання на відмову регенераторів – 72 000 год.
- 9 Інтенсивність відмов 1 км оптичного кабелю – $3,88 \cdot 10^{-7}$ 1/год.

Варіант 5

Таблиця А.9 – Відстань між вузлами проектованої мережі

Вузол мережі	А	В	С	Д	Е	F
А	–					
В	25	–				
С	48	55	–			
Д	56	39	92	–		
Е	85	43	110	150	–	
F	67	62	68	105	160	–

Таблиця А.10 – Розподіл цифрових потоків 2 Мбіт/с за напрямками зв'язку

Вузол	А	В	С	Д	Е	F
А	–					
В	30	–				
С	30	30	–			
Д	95	45	23	–		
Е	10	12	9	4	–	
F	60	20	20	50	40	–

- 1 Будівельна довжина волоконно-оптичного кабелю – 2 км.
- 2 Ширина спектра джерела випромінювання – 0,35 нм.
- 3 Експлуатаційний запас – 6 дБ.
- 4 Втрати в рознімних з'єднаннях – 0,65 дБ.
- 5 Кількість рознімних з'єднань – 2.
- 6 Втрати в нерознімних з'єднаннях – 0,023 дБ.
- 7 Напрацювання на відмову мультиплексорів – 70 000 год.
- 8 Напрацювання на відмову регенераторів – 92 000 год.
- 9 Інтенсивність відмов 1 км оптичного кабелю – $3,88 \cdot 10^{-7}$ 1/год.

Варіант 6

Таблиця А.11 – Відстань між вузлами проектованої мережі

Вузол мережі	А	В	С	Д	Е	Ф
А	–					
В	210	–				
С	65	150	–			
Д	111	120	180	–		
Е	23	220	55	123	–	
Ф	45	180	29	165	71	–

Таблиця А.12 – Розподіл цифрових потоків 2 Мбіт/с за напрямками зв'язку

Вузол	А	В	С	Д	Е	Ф
А	–					
В	2	–				
С	69	3	–			
Д	6	8	2	–		
Е	78	2	90	2	–	
Ф	80	9	80	4	75	–

- 1 Будівельна довжина волоконно-оптичного кабелю – 2 км.
- 2 Ширина спектра джерела випромінювання – 0,3 нм.
- 3 Експлуатаційний запас – 6 дБ.
- 4 Втрати в рознімних з'єднаннях – 0,8 дБ.
- 5 Кількість рознімних з'єднань – 2.
- 6 Втрати в нерознімних з'єднаннях – 0,037 дБ.
- 7 Напрацювання на відмову мультиплексорів – 65 000 год.
- 8 Напрацювання на відмову регенераторів – 99 000 год.
- 9 Інтенсивність відмов 1 км оптичного кабелю – $3,88 \cdot 10^{-7}$ 1/год.

Варіант 7

Таблиця А.13 – Відстань між вузлами проектованої мережі

Вузол мережі	А	В	С	Д	Е	F
А	–					
В	30	–				
С	85	92	–			
Д	40	53	80	–		
Е	36	42	90	55	–	
F	48	46	95	54	38	–

Таблиця А.14 – Розподіл цифрових потоків 2 Мбіт/с за напрямками зв'язку

Вузол	А	В	С	Д	Е	F
А	–					
В	50	–				
С	5	4	–			
Д	43	32	2	–		
Е	45	46	3	56	–	
F	22	28	5	52	65	–

- 1 Будівельна довжина волоконно-оптичного кабелю – 2 км.
- 2 Ширина спектра джерела випромінювання – 0,35 м.
- 3 Експлуатаційний запас – 6 дБ.
- 4 Втрати в рознімних з'єднаннях – 0,6 дБ.
- 5 Кількість рознімних з'єднань – 2.
- 6 Втрати в нерознімних з'єднаннях – 0,038 дБ.
- 7 Напрацювання на відмову мультиплексорів – 64 000 год.
- 8 Напрацювання на відмову регенераторів – 95 000 год.
- 9 Інтенсивність відмов 1 км оптичного кабелю – $3,88 \cdot 10^{-7}$ 1/год.

Варіант 8

Таблиця А.15 – Відстань між вузлами проектованої мережі

Вузол мережі	А	В	С	Д	Е	F
А	–					
В	43	–				
С	56	55	–			
Д	68	62	35	–		
Е	45	78	49	26	–	
F	36	84	71	54	44	–

Таблиця А.16 – Розподіл цифрових потоків 2 Мбіт/с за напрямками зв'язку

Вузол	А	В	С	Д	Е	F
А	–					
В	28	–				
С	24	12	–			
Д	23	32	14	–		
Е	21	25	19	29	–	
F	15	26	24	45	36	–

1 Будівельна довжина волоконно-оптичного кабелю – 2 км.

2 Ширина спектра джерела випромінювання – 0,5 нм.

3 Експлуатаційний запас – 6 дБ.

4 Втрати в рознімних з'єднаннях – 0,69 дБ.

5 Кількість рознімних з'єднань – 2.

6 Втрати в нерознімних з'єднаннях – 0,04 дБ.

7 Напрацювання на відмову мультиплексорів – 68 000 год.

8 Напрацювання на відмову регенераторів – 85 000 год.

9 Інтенсивність відмов 1 км оптичного кабелю – $3,88 \cdot 10^{-7}$ 1/год.

Варіант 9

Таблиця А.17 – Відстань між вузлами проектованої мережі

Вузол мережі	А	В	С	Д	Е	Ф
А	–					
В	120	–				
С	180	145	–			
Д	240	136	185	–		
Е	125	148	195	220	–	
Ф	121	165	210	190	182	–

Таблиця А.18 – Розподіл цифрових потоків 2 Мбіт/с за напрямками зв'язку

Вузол	А	В	С	Д	Е	Ф
А	–					
В	23	–				
С	20	21	–			
Д	21	25	12	–		
Е	18	32	19	21	–	
Ф	25	11	30	15	29	–

- 1 Будівельна довжина волоконно-оптичного кабелю – 2 км.
- 2 Ширина спектра джерела випромінювання – 0,3 нм.
- 3 Експлуатаційний запас – 6 дБ.
- 4 Втрати в рознімних з'єднаннях – 0,67 дБ.
- 5 Кількість рознімних з'єднань – 2.
- 6 Втрати в нерознімних з'єднаннях – 0,031 дБ.
- 7 Напрацювання на відмову мультиплексорів – 72 000 год.
- 8 Напрацювання на відмову регенераторів – 93 000 год.
- 9 Інтенсивність відмов 1 км оптичного кабелю – $3,88 \cdot 10^{-7}$ 1/год.

Варіант 10

Таблиця А.19 – Відстань між вузлами проектованої мережі

Вузол мережі	А	В	С	Д	Е	F
А	–					
В	83	–				
С	75	64	–			
Д	98	99	87	–		
Е	120	92	71	88	–	
F	65	69	92	73	65	–

Таблиця А.20 – Розподіл цифрових потоків 2 Мбіт/с за напрямками зв'язку

Вузол	А	В	С	Д	Е	F
А	–					
В	9	–				
С	8	40	–			
Д	4	30	32	–		
Е	5	20	42	38	–	
F	9	15	55	55	60	–

- 1 Будівельна довжина волоконно-оптичного кабелю – 2 км.
- 2 Ширина спектра джерела випромінювання – 0,32 нм.
- 3 Експлуатаційний запас – 6 дБ.
- 4 Втрати в рознімних з'єднаннях – 0,68 дБ.
- 5 Кількість рознімних з'єднань – 2.
- 6 Втрати в нерознімних з'єднаннях – 0,041 дБ.
- 7 Напрацювання на відмову мультиплексорів – 63 000 год.
- 8 Напрацювання на відмову регенераторів – 91 000 год.
- 9 Інтенсивність відмов 1 км оптичного кабелю – $3,88 \cdot 10^{-7}$ 1/год.

Варіант 11

Таблиця А.21 – Відстань між вузлами проектованої мережі

Вузол мережі	А	В	С	Д	Е	Ф
А	–					
В	65	–				
С	36	56	–			
Д	48	51	48	–		
Е	71	84	37	68	–	
Ф	85	54	39	72	75	–

Таблиця А.22 – Розподіл цифрових потоків 2 Мбіт/с за напрямками зв'язку

Вузол	А	В	С	Д	Е	Ф
А	–					
В	50	–				
С	45	44	–			
Д	39	40	63	–		
Е	68	21	54	58	–	
Ф	3	11	6	12	15	–

- 1 Будівельна довжина волоконно-оптичного кабелю – 2 км.
- 2 Ширина спектра джерела випромінювання – 0,5 нм.
- 3 Експлуатаційний запас – 6 дБ.
- 4 Втрати в рознімних з'єднаннях – 0,69 дБ.
- 5 Кількість рознімних з'єднань – 2.
- 6 Втрати в нерознімних з'єднаннях – 0,032 дБ.
- 7 Напрацювання на відмову мультиплексорів – 62 500 год.
- 8 Напрацювання на відмову регенераторів – 85 700 год.
- 9 Інтенсивність відмов 1 км оптичного кабелю – $3,88 \cdot 10^{-7}$ 1/год.

Варіант 12

Таблиця А.23 – Відстань між вузлами проектованої мережі

Вузол мережі	А	В	С	Д	Е	Ф
А	–					
В	56	–				
С	48	47	–			
Д	65	62	68	–		
Е	75	49	61	59	–	
Ф	190	210	180	185	196	–

Таблиця А.24 – Розподіл цифрових потоків 2 Мбіт/с за напрямками зв'язку

Вузол	А	В	С	Д	Е	Ф
А	–					
В	10	–				
С	12	19	–			
Д	18	14	26	–		
Е	21	21	17	23	–	
Ф	3	10	7	12	8	–

- 1 Будівельна довжина волоконно-оптичного кабелю – 2 км.
- 2 Ширина спектра джерела випромінювання – 0,3 нм.
- 3 Експлуатаційний запас – 6 дБ.
- 4 Втрати в рознімних з'єднаннях – 0,61 дБ.
- 5 Кількість рознімних з'єднань – 2.
- 6 Втрати в нерознімних з'єднаннях – 0,038 дБ.
- 7 Напрацювання на відмову мультиплексорів – 68 900 год.
- 8 Напрацювання на відмову регенераторів – 88 400 год.
- 9 Інтенсивність відмов 1 км оптичного кабелю – $3,88 \cdot 10^{-7}$ 1/год.

Варіант 13

Таблиця А.25 – Відстань між вузлами проектованої мережі

Вузол мережі	А	В	С	Д	Е	Ф
А	–					
В	120	–				
С	180	121	–			
Д	160	169	185	–		
Е	150	170	183	140	–	
Ф	121	128	142	139	129	–

Таблиця А.26 – Розподіл цифрових потоків 2 Мбіт/с за напрямками зв'язку

Вузол	А	В	С	Д	Е	Ф
А	–					
В	3	–				
С	9	29	–			
Д	4	50	39	–		
Е	2	48	46	65	–	
Ф	3	2	4	3	5	–

- 1 Будівельна довжина волоконно-оптичного кабелю – 2 км.
- 2 Ширина спектра джерела випромінювання – 0,32 нм.
- 3 Експлуатаційний запас – 6 дБ.
- 4 Втрати в рознімних з'єднаннях – 0,68 дБ.
- 5 Кількість рознімних з'єднань – 2.
- 6 Втрати в нерознімних з'єднаннях – 0,035 дБ.
- 7 Напрацювання на відмову мультиплексорів – 69 700 год.
- 8 Напрацювання на відмову регенераторів – 99 000 год.
- 9 Інтенсивність відмов 1 км оптичного кабелю – $3,88 \cdot 10^{-7}$ 1/год.

Варіант 14

Таблиця А.27 – Відстань між вузлами проектованої мережі

Вузол мережі	А	В	С	Д	Е	Ф
А	–					
В	99	–				
С	120	36	–			
Д	110	59	35	–		
Е	98	58	54	52	–	
Ф	89	48	63	45	39	–

Таблиця А.28 – Розподіл цифрових потоків 2 Мбіт/с за напрямками зв'язку

Вузол	А	В	С	Д	Е	Ф
А	–					
В	10	–				
С	12	56	–			
Д	8	58	55	–		
Е	9	61	48	58	–	
Ф	11	26	65	55	51	–

- 1 Будівельна довжина волоконно-оптичного кабелю – 2 км.
- 2 Ширина спектра джерела випромінювання – 0,3 нм.
- 3 Експлуатаційний запас – 6 дБ.
- 4 Втрати в рознімних з'єднаннях – 0,63 дБ.
- 5 Кількість рознімних з'єднань – 2.
- 6 Втрати в нерознімних з'єднаннях – 0,038 дБ.
- 7 Напрацювання на відмову мультиплексорів – 68 600 год.
- 8 Напрацювання на відмову регенераторів – 97 200 год.
- 9 Інтенсивність відмов 1 км оптичного кабелю – $3,88 \cdot 10^{-7}$ 1/год.

Варіант 15

Таблиця А.29 – Відстань між вузлами проектованої мережі

Вузол мережі	А	В	С	Д	Е	Ф
А	–					
В	89	–				
С	65	98	–			
Д	48	96	59	–		
Е	71	89	52	48	–	
Ф	63	85	65	64	74	–

Таблиця А.30 – Розподіл цифрових потоків 2 Мбіт/с за напрямками зв'язку

Вузол	А	В	С	Д	Е	Ф
А	–					
В	40	–				
С	20	25	–			
Д	30	46	40	–		
Е	50	20	20	38	–	
Ф	46	10	35	29	30	–

- 1 Будівельна довжина волоконно-оптичного кабелю – 2 км.
- 2 Ширина спектра джерела випромінювання – 0,36 нм.
- 3 Експлуатаційний запас – 6 дБ.
- 4 Втрати в рознімних з'єднаннях – 0,69 дБ.
- 5 Кількість рознімних з'єднань – 2.
- 6 Втрати в нерознімних з'єднаннях – 0,039 дБ.
- 7 Напрацювання на відмову мультиплексорів – 63 300 год.
- 8 Напрацювання на відмову регенераторів – 87 400 год.
- 9 Інтенсивність відмов 1 км оптичного кабелю – $3,88 \cdot 10^{-7}$ 1/год.

ДОДАТОК Б

Типові параметри оптичних волокон

Таблиця Б.1 – Типові параметри оптичних волокон, що відповідають рекомендаціям ІТУ-Т G.652, G.653, G.654, G.655

Параметр	G.652	G.653	G.654	G.655
1 Робоча довжина хвилі, нм	1310	-	-	1530 -
	1550	1550	1550	1565
2 Коефіцієнт загасання, дБ/км, не більше:				
на довжині хвилі 1310 нм	$\geq 0,36$	-	-	-
на довжині хвилі 1550 нм	$\geq 0,22$	$\geq 0,22$	$\geq 0,20$	$\geq 0,25$
3 Коефіцієнт хроматичної дисперсії, пс/нм · км, не більше:				
в інтервалі довжин хвиль 1285 -1330 нм	3,5	-	-	-
в інтервалі довжин хвиль 1525 -1575 нм	18	3,5	20	-
в інтервалі довжин хвиль 1530 -1565 нм	-	-	-	1,0 – 10,0
4 Нахил дисперсійної характеристики в області довжини хвилі нульової дисперсії, пс/нм ² · км, не більше:				
в інтервалі довжин хвиль 1285-1330 нм	0,093	-	-	-
в інтервалі довжин хвиль 1525-1575 нм	-	0,085	0,06	-
5 Довжина хвилі відсічення, нм, не більше	1270	1270	1530	1450
6 Діаметр модового поля, мкм	(9 - 10) $\pm 10 \%$	(7 - 8,3) $\pm 10 \%$	10,5 \pm 10 %	(8 -11) $\pm 10 \%$

ДОДАТОК В

Параметри оптичних інтерфейсів обладнання SDH

Типи оптичних інтерфейсів і їхні параметри наведені в таблицях В.1 – В.4.

Таблиця В.1 – Типи оптичних інтерфейсів обладнання SDH

Використання	Внутрішньо-станційні інтерфейси	Міжстанційні інтерфейси					
		Коротка секція			Довга секція		
Номінальна довжина хвилі джерела, нм	1310	1310	1550	1310	1550		
Тип волокна	G.652	G.652	G.652	G.652	G.652, G.654	G.653	
Довжина секції, км	≤ 2	~15		~40	~80		
Рівень мультиплексування	STM-1	I-1	S-1.1	S-1.2	L-1.1	L-1.2	L-1.3
	STM-4	I-4	S-4.1	S-4.2	L-4.1	L-4.2	L-4.3
	STM-16	I-16	S-16.1	S-16.2	L-16.1	L-16.2	L-16.3

Для кожного типу оптичного інтерфейсу у відповідності з рекомендаціями ІТУ-Т G.957 вводиться код використання, що складається з трьох груп символів з розділовими знаками між ними, наприклад L-4.3.

Перший символ визначає тип з'єднання:

- внутрішньостанційне з'єднання довжиною до 2 км (I);
- коротке міжстанційне з'єднання довжиною до 15 км (S);
- довге міжстанційне з'єднання довжиною від 15 до 40 км або від 40 до 80 км (L).

Другий символ визначає рівень мультиплексування, наприклад 1, 4, 16.

Третій символ визначає тип джерела випромінювання й оптичного волокна:

1 – джерело випромінювання з номінальною довжиною хвилі 1310 нм для одномодових оптичних волокон (G.652);

2 – джерело випромінювання з номінальною довжиною хвилі 1550 нм для одномодових оптичних волокон для використання на коротких міжстанційних з'єднаннях і для одномодових волокон з мінімізованими втратами (G.654) для використання на довгих міжстанційних з'єднаннях;

3 – джерело випромінювання з номінальною довжиною хвилі 1550 нм для одномодових оптичних волокон зі зсунутою дисперсією (G.653).

Указані в таблиці В.1 довжини секцій застосовуються тільки для класифікації. Реальна довжина регенераційних секцій обумовлюється параметрами апаратури (рівень передавання, чутливість), а також параметрами кабелю (загасання, дисперсія) і може бути набагато більше, особливо при використанні оптичних підсилювачів.

Таблиця В.2 . Параметри оптичних інтерфейсів обладнання SDH рівня STM-1

Параметр	Од. вим.	Значення													
		155 520 Кбіт/с - STM-1 згідно рекомендацій G.707 та G.958													
Номінальна швидкість передавання	Кбіт/с	I-1		S-1.1		S-1.2		L-1.1		L-1.2		L-1.3			
Код застосування	нм	1260-1360		1261-1360		1430-1576		1430-1580		1280-1335		1480-1580		1534-1566/ 1523-1577	
Передавач в опорній точці S		MLM	LED	MLM	MLM	MLM	MLM	MLM	MLM	MLM	MLM	MLM	MLM	MLM	SLM
Тип джерела випромінювання															
Спектральні характеристики		40	80	7.7	2.5	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3
– максимальна ширина (σ)	нм	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
– максимальна ширина (-20 дБ)	нм	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
– мінімальне придушення бічних пелюстків	дБ	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Середня потужність випромінювання	дБм	–8	–8	–8	–8	–8	–8	–8	–8	–8	–8	–8	–8	–8	–8
– максимальна	дБм	–15	–15	–15	–15	–15	–15	–15	–15	–15	–15	–15	–15	–15	–15
– мінімальна	дБ	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2
Мінімальний коефіцієнт послаблення сигналу	дБ														
Оптичний шлях між S та R		MLM	LED	MLM	MLM	MLM	MLM	MLM	MLM	MLM	MLM	MLM	MLM	MLM	SLM
Діапазон послаблення	дБ	18	0-7	0-12	296	185	0-12	0-12	0-12	10-28	10-28	10-28	10-28	10-28	10-28
Максимальна дисперсія	пс/нм		25	96	296	185	0-12	0-12	0-12	не визнач.	не визнач.	не визнач.	не визнач.	не визнач.	не визнач.
Мінімальні зворотні втрати кабельної ділянки в точці S з урахуванням оптичних рознімань	дБ	не визнач.	не визнач.	не визнач.	не визнач.	не визнач.	не визнач.	не визнач.	не визнач.	не визнач.	не визнач.	не визнач.	не визнач.	не визнач.	не визнач.
Максимальне відбиття між S та R	дБ	не визнач.	не визнач.	не визнач.	не визнач.	не визнач.	не визнач.	не визнач.	не визнач.	не визнач.	не визнач.	не визнач.	не визнач.	не визнач.	не визнач.
Приймач в опорній точці R		MLM	LED	MLM	MLM	MLM	MLM	MLM	MLM	MLM	MLM	MLM	MLM	MLM	SLM
Мінімальна чутливість	дБм	–23	–23	–28	–28	–28	–28	–28	–28	–34	–34	–34	–34	–34	–34
Мінімальне перевантаження	дБм	–8	–8	–8	–8	–8	–8	–8	–8	–10	–10	–10	–10	–10	–10
Максимальні оптичні втрати приймача, виміряне в точці R	дБ	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Максимальне відбиття приймача, виміряне в точці R	дБ	не визнач.	не визнач.	не визнач.	не визнач.	не визнач.	не визнач.	не визнач.	не визнач.	не визнач.	не визнач.	не визнач.	не визнач.	не визнач.	не визнач.
Примітка: MLM – багатомодовий лазерний випромінювач; SLM – одномодовий лазерний випромінювач; LED – світлодіодний діод															

Таблиця В.3 - Параметри оптичних інтерфейсів обладнання SDH рівня STM-4

Параметр	Од. вим	Значення						
		I-4	S-4.1	S-4.2	L-4.1	L-4.2	L-4.3	
Номинальна швидкість передавання	Кбіт/с	622 080 Кбіт/с - STM-4 згідно рекомендацій G.707 та G.958						
Код застосування		L-4.1						
Робочий діапазон довжин хвиль	nm	1261-1360	1293-1334/ 1274-1356	1430-1580	1300-1325/ 1296-1330	1280-1335	1480-1580	1480-1580
Передавач в опорній точці S								
Тип джерела випромінювання		MLM	LED	SLM	MLM	SLM	SLM	SLM
Спектральні характеристики								
- максимальна ширина (σ)	нм	14.5	35	-	2.0/1.7	-	-	-
- максимальна ширина (-20 дБ)	нм	-	-	1	-	1	<1	1
- мінімальне придушення бічних пелюстків	дБ	-	-	30	-	30	30	30
Середня потужність випромінювання	дБм							
- максимальна	дБм	-8	-8	-8	+2	+2	+2	+2
- мінімальна	дБм	-15	-15	-15	-3	-3	-3	-3
Мінімальний коефіцієнт послаблення сигналу	дБ	8.2	8.2	8.2	10	10	10	10
Оптичний шлях між S та R								
Діапазон послаблення	дБ	0-7	0-12	0-12	10-24	10-24	10-24	10-24
Максимальна дисперсія	пс/нм	13	46/74	не визнач.	92/109	не визнач.	не визнач.	не визнач.
Мінімальні зворотні втрати кабельної ділянки в точці S з урахуванням оптичних рознімань	дБ	не визнач.	не визнач.	24	20	24	24	20
Максимальне відбиття між S та R	дБ	не визнач.	не визнач.	-27	-25	-27	-27	-25
Приймач в опорній точці R								
Мінімальна чутливість	дБм	-23	-28	-28	-28	-28	-28	-28
Мінімальне перевантаження	дБм	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8
Максимальні оптичні втрати	дБ	1	1	1	1	1	1	1
Максимальне відбиття приймача, виміряне в точці R	дБ	не визнач.	не визнач.	-27	-14	-27	-27	-14

Таблиця В.4 Параметри оптичних інтерфейсів обладнання SDH рівня STM-16

Параметр	Од. вим	Значення					
Номінальна швидкість передавання	Кбіт/с	2 488 320 Кбіт/с - STM-16 згідно рекомендацій G.707 та G.958					
Код застосування		I-16	S-16.1	S-16.2	L-16.1	L-16.2	L-16.3
Робочий діапазон довжин хвиль	нм	1266-1360	1260 ^{a)} -1360	1430-1580	1280-1335	1500-1580	1500-1580
Передавач в опорній точці S							
Тип джерела випромінювання		MLM	SLM	SLM	SLM	SLM	SLM
Спектральні характеристики							
– максимальна ширина (σ)	нм	4	–	–	–	–	–
– максимальна ширина (-20 дБ)	нм	–	1	< 1	1	< 1	< 1
– мінімальне придушення бічних пелюстків	дБ	–	30	30	30	30	30
Середня потужність випромінювання							
– максимальна	дБм	-3	0	0	+3	+3	+3
– мінімальна	дБм	-10	-5	-5	-2	-2	-2
Мінімальний коефіцієнт послаблення сигналу	дБ	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2
Оптичний шлях між S та R							
Діапазон послаблення	дБ	0-7	0-12	0-12	10-24	10-24	10-24
Максимальна дисперсія	пс/нм	12	не визнач.	24	не визнач.	1200-1600	24
Мінімальні зворотні втрати кабельної ділянки в точці S з урахуванням оптичних рознімань	дБ	24	24	24	24	24	24
Максимальне відбиття між S та R	дБ	-27	-27	-27	-27	-27	-27
Приймач в опорній точці R							
Мінімальна чутливість	дБм	-18	-18	-18	-27	-28	-27
Мінімальне перевантаження	дБм	-3	0	0	-9	-9	-9
Максимальні оптичні втрати	дБ	1	1	1	1	2	1
Максимальне відбиття приймача, виміряне в точці R	дБ	-27	-27	-27	-27	-27	-27

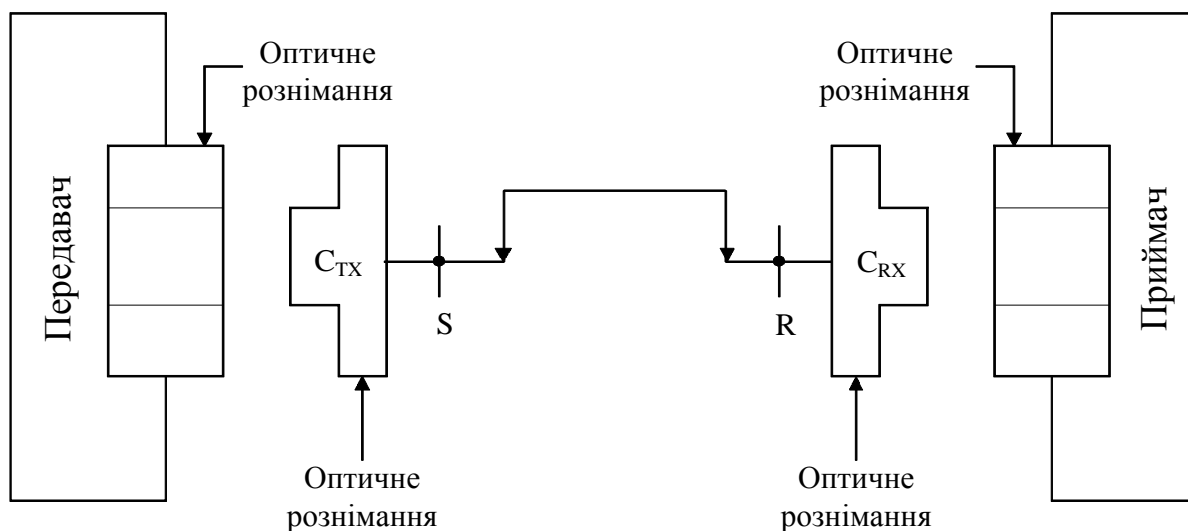


Рисунок В.1 – Опорні точки S і R