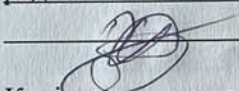


Вінницький національний технічний університет
Факультет інформаційних електронних систем
Кафедра інфокомунікаційних систем і технологій

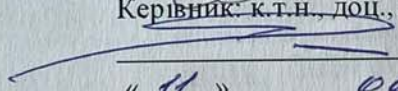
Бакалаврська дипломна робота на тему:

ОЦІНКА АЛГОРИТМІВ СИНХРОНІЗАЦІЇ В ВИСОКОШВИДКІСНИХ
МЕРЕЖАХ SDN ДЛЯ ЕФЕКТИВНОГО УПРАВЛІННЯ
ТРАФІКОМ ТА РЕСУРСАМИ

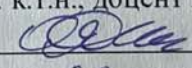
Виконав: студент 4-го курсу, групи ПЗТ-206
спеціальності 172 – Телекомунікації та
радіотехніка

 Березюк О.Ф.

Керівник: к.т.н., доц., професор каф. ІКСТ
Барась С. Т.

 « 11 » 06 2024 р.

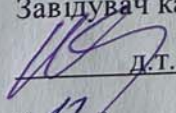
Рецензент: к.т.н., доцент каф. ІРТС

 Осадчук Я. О.

« 11 » 06 2024 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри ІКСТ

 д.т.н., проф. Кичак В.М.

« 12 » 06 2024 р.

Вінниця ВНТУ - 2024 рік

Вінницький національний технічний університет
 Факультет інформаційних електронних систем
 Кафедра інфокомунікаційних систем та технологій
 Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
 Галузь знань 17 – Електроніка та телекомунікації
 (шифр і назва)
 Спеціальність 172 – Телекомунікації та радіотехніка
 (шифр і назва)
 Освітня програма – Програмне забезпечення телекомунікаційних систем

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ІКСТ

д.т.н., професор В.М. Кичак

«06» 05 2024 року

З А В Д А Н Н Я **НА БАКАЛАВРСЬКУ ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Березюку Олегу Федоровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Оцінка алгоритмів синхронізації в високошвидкісних мережах SDH для ефективного управління трафіком та ресурсами
 керівник роботи Барась Святослав Тадіонович, кан. техн. наук, професор,
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
 затверджені наказом ВНТУ від “11” березня 2024 року № 80

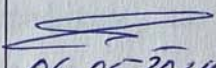
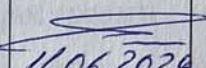
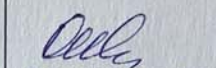
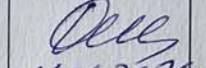
2. Строк подання студентом роботи: 07 червня 2024 року

3. Вихідні дані до роботи: тип оптичної транспортної мережі – SDH, робоча довжина хвилі оптичного сигналу – 1550 нм, швидкість передачі інформації – не менше 10 Гбіт/с.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки роботи (перелік питань, які потрібно розробити): вступ, дослідження особливостей функціонування мереж за технологією SDH, дослідження характеристики синхронізації в мережі SDH, моделювання процесу проходження оптичного сигналу у ВОЛЗ мереж SDH, охорона праці.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): складові модової поляризаційної і хроматичної дисперсії у ВОЛЗ на базі одномодового оптичного волокна NZDSF; програмний код блоку оголошення змінних; програмний код блоку виведення результатів; результати комп'ютерного моделювання математичної моделі для передачі інформації на двох хвилях.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	Барась. С.Т., кан. техн. наук, професор кафедри ІКСТ	 06.05.2024	 11.06.2024
Охорона праці	Яценко С.В. проф. каф. БЖД ПБ	 06.05.2024	 14.06.2024

7. Дата видачі завдання «06» травня 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів бакалаврської дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Формування та затвердження теми та індивідуального завдання бакалаврської дипломної роботи (БДР)	06.05.2024р.	
2	Виконання спеціальної частини БДР. Перший рубіжний контроль виконання БДР	20.05.2024р.	
3	Виконання спеціальної частини БДР. Другий рубіжний контроль виконання БДР	31.05.2024р.	
4	Виконання розділу «Охорона праці»	04.06.2024р.	
5	Нормоконтроль БДР	05.06.2024р.	
6	Попередній захист БДР	06.06.2024р.	
7	Рецензування БДР	07.06.2024р.	
8	Захист БДР	12.06.2024р.	

Студент

(підпис)

Березюк О. Ф.

Керівник роботи

(підпис)

Барась С. Т.

АНОТАЦІЯ

УДК 621.396

Березюк О.Ф. Оцінка алгоритмів синхронізації в високошвидкісних мережах SDH для ефективного управління трафіком та ресурсами – бакалаврська дипломна робота. – Вінниця: ВНТУ 2024 р. 87 стор., 27 рис., 6 табл., 32 бібл. – українською мовою.

Метою роботи є визначення ефективних алгоритмів синхронізації в високошвидкісних мережах SDH з метою покращення управління трафіком та ресурсами. Для цього проведено ряд досліджень та дана оцінка алгоритмів синхронізації у високошвидкісних мережах синхронної цифрової ієрархії (SDH) для забезпечення ефективного управління трафіком та ресурсами. Основна увага приділена аналізу різних підходів до синхронізації, їх ефективності та впливу на якість обслуговування в умовах високих швидкостей передачі даних.

Було зроблено рекомендації щодо вибору оптимальних алгоритмів синхронізації для різних сценаріїв використання мереж SDH, а також пропозиції щодо можливих напрямків подальших досліджень у цій галузі.

Результати дослідження можуть бути використані для поліпшення управління трафіком та ресурсами у високошвидкісних мережах SDH, забезпечуючи підвищення їх ефективності та надійності.

Ключові слова: синхронна цифрова ієрархія (SDH), алгоритми синхронізації, високошвидкісні мережі, управління трафіком, управління ресурсами, надійність мережі.

ANNOTATION

Berezyuk O.F. Evaluation of synchronization algorithms in high-speed SDH networks for effective traffic and resource management - bachelor thesis. – Vinnytsia: VNTU, 2024. 87 pages, 27 figures, 6 tables, 32 bibl. - In ukrainian.

The aim of the work is to define effective synchronization algorithms in high-speed SDH networks in order to improve traffic and resource management. For this purpose, a number of studies have been conducted and an assessment of synchronization algorithms in high-speed synchronous digital hierarchy (SDH) networks to ensure effective traffic and resource management is given. The main attention is paid to the analysis of different approaches to synchronization, their efficiency and impact on the quality of service in conditions of high data transfer rates.

Recommendations were made for the selection of optimal synchronization algorithms for various scenarios of using SDH networks, as well as suggestions for possible directions of further research in this field.

The results of the research can be used to improve traffic and resource management in high-speed SDH networks, ensuring an increase in their efficiency and reliability.

Keywords: Synchronous Digital Hierarchy (SDH), synchronization algorithms, high-speed networks, traffic management, resource management, network reliability.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	7
ВСТУП	8
1 ОСОБЛИВОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ МЕРЕЖ ЗА ТЕХНОЛОГІЄЮ	
SDH	11
1.1 Основні положення про синхронізацію в цифрових системах і мережах передачі інформації.....	13
1.2 Види синхронізації в цифрових телекомунікаційних системах.....	13
1.3 Топологія та архітектура мереж SDH	18
1.4 Особливості мереж і методи синхронної цифрової ієрархії SDH.....	26
1.5 Висновки до розділу	30
2 ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК СИНХРОНІЗАЦІЇ В МЕРЕЖІ	
SDH	31
2.1 Аналіз алгоритмів синхронізації в цифрових телекомунікаційних мережах	31
2.2 Методи тактової синхронізації в цифрових мережах передачі інформації	35
2.2.1 Пристрої систем тактової синхронізації та їхні параметри.....	35
2.3 Архітектура синхронізації.....	42
2.4 Характеристики синхронізації у мережі SDH.....	42
2.5 Основні параметри та принципи у плануванні синхронізації.....	42
2.5.1 Планування синхронізації у мережі SDH	42
2.6 Виявлення помилок у системі SDH.....	42
2.7 Висновки до розділу.	42
3 МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ПРОХОДЖЕННЯ ОПТИЧНОГО СИГНАЛУ У	
ВОЛЗ МЕРЕЖ SDH	50

3.1 Оптимізація математичної моделі оптичного сигналу з урахуванням дисперсії та втрат	50
3.2 Моделювання оптичного сигналу за методом двох-хвильового кодування інформації	56
3.3 Висновки до розділу	60
4 ОХОРОНА ПРАЦІ	61
4.1 Технічні рішення щодо безпечного виконання роботи.....	62
4.1.1 Обладнання приміщення та робочого місця	62
4.1.2 Профілактика професійних захворювань користувача ПК	65
4.2 Технічні рішення з виробничої санітарії	66
4.2.1 Мікроклімат	66
4.2.2 Склад повітря робочої зони.....	67
4.2.3 Виробниче освітлення	68
4.2.4 Виробничий шум.....	70
4.2.5 Виробничі випромінювання.....	70
4.3 Пожежна безпека.....	72
4.4 Висновки до розділу	73
ВИСНОВКИ.....	74
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	76
Додаток А (обов'язковий). Ілюстративна частина	80
Додаток Б (обов'язковий). Протокол перевірки кваліфікаційної роботи на наявність текстових запозичень.....	85

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

AI – Автоматизована інфраструктура

AZ – Автоматизована зона

CM – Комп'ютерне моделювання

CS – Координатна синхронізація

CT – Канальний трафік

DL – Затримка

DN – Розподільчий вузол

DT – Передача даних

HSN – Високошвидкісні мережі

IN – Інформаційний вузол

NB – Мережна шина передачі

NR – Надійність мережі

OR – Оптичний приймач

OT – Оптичне транспортування

QoS – Якість обслуговування

RM – Управління ресурсами

RR – Відновлення ресурсу

SA – Алгоритми синхронізації

SDH – Синхронна цифрова ієрархія

TB – Пропускна здатність

TM – Управління трафіком

TN – Вузол передачі

TT – Транспортний трафік

TZ – Транспортна зона

ВСТУП

Актуальність теми. З урахуванням постійного прогресу у телекомунікаційних технологіях та зростання потоків даних, важливість вивчення алгоритмів синхронізації у високошвидкісних мережах SDH набуває ще більшого значення. Впровадження оптимальних методів синхронізації може суттєво поліпшити ефективність та надійність таких мереж, готуючи їх до майбутніх викликів у галузі телекомунікацій.

Дослідження алгоритмів синхронізації в мережах SDH є ключовим у зв'язку з постійним розвитком цих мереж та їх широким застосуванням у сучасних телекомунікаційних системах. SDH використовується для цифрової передачі голосу, даних та інших послуг з високою швидкістю та надійністю [1].

Оцінка алгоритмів синхронізації має вирішальне значення для забезпечення стабільності та точності передачі даних у мережах SDH. Ці алгоритми визначають, як різні елементи мережі синхронізують свої годинники для координації передачі сигналів.

Дослідження включає в себе аналіз різних алгоритмів синхронізації, їх ефективність та витрати ресурсів. Воно спрямоване на виявлення оптимальних стратегій синхронізації, що гарантують максимальну продуктивність та мінімізацію можливих помилок у мережі.

Ураховуючи широке використання та важливість мереж SDH у сучасних телекомунікаційних системах, дослідження в області оцінки алгоритмів синхронізації залишається актуальним і має значний практичний інтерес для фахівців у галузі мережних технологій [2].

Аналіз останніх досліджень. Сучасні дослідження зосереджуються на оцінці та порівнянні різних алгоритмів синхронізації в високошвидкісних мережах SDH. Дані дослідження аналізують ефективність алгоритмів, їх

точність та витрати ресурсів з метою вибору оптимального методу для конкретних умов та вимог мережі [2].

Один з напрямків досліджень полягає у використанні імітаційного моделювання для аналізу різних алгоритмів синхронізації. Це дозволяє провести дослідження в різних умовах та сценаріях, враховуючи різноманітні параметри мережі та трафіку.

Дослідження акцентують увагу на розробці та вдосконаленні алгоритмів синхронізації, що спрямовані на забезпечення найвищого рівня надійності та продуктивності в мережах SDH. Використання новітніх методів та технологій дозволяє оптимізувати процес синхронізації, зменшуючи час відновлення мережі та підвищуючи загальну ефективність її функціонування. Такі дослідження відіграють ключову роль у розвитку сучасних телекомунікаційних систем та сприяють подальшому вдосконаленню мереж SDH для забезпечення швидкого та надійного передавання даних [3].

У цілому, дослідження в області оцінки алгоритмів синхронізації в високошвидкісних мережах SDH є активним та має значний потенціал для вдосконалення ефективності та надійності таких мереж.

Метою даної кваліфікаційної роботи є визначення ефективних алгоритмів синхронізації в високошвидкісних мережах SDH з метою покращення управління трафіком та ресурсами.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі *задачі*:

- дослідити особливості функціонування мереж за технологією SDH;
- розглянути особливості методів синхронізації у мережах SDH;
- провести аналіз алгоритмів синхронізації в цифрових телекомунікаційних мережах;
- дослідити архітектуру синхронізації в оптичних мережах;
- визначити особливості планування вузлів синхронізації;

- провести моделювання процесу проходження оптичного сигналу у ВОЛЗ мереж SDH.

Методи досліджень високошвидкісних мереж SDH включають моделювання та симуляцію, емпіричні дослідження, експериментальні вимірювання та аналітичні методи. Вони використовуються для отримання повного розуміння роботи мережі та оцінки ефективності різних алгоритмів синхронізації. Усі дані дослідження базуються на теорії оптоелектроніки та теоретичних засадах волоконно-оптичних ліній зв'язку.

Новизна одержаних результатів полягає в спроможності виявляти оптимальні стратегії синхронізації, які забезпечують максимальну продуктивність та мінімізацію можливих помилок у мережі. Ці результати можуть включати нові методи оцінки ефективності алгоритмів синхронізації, розроблені алгоритми або підходи до оптимізації роботи мережі SDH з урахуванням різних умов і факторів, таких як обсяги трафіку, ресурси, характеристики обладнання тощо.

Практичне значення роботи полягає в забезпеченні оптимального управління трафіком та ресурсами в високошвидкісних мережах SDH за допомогою оцінки ефективності алгоритмів синхронізації. Результати дослідження можуть бути використані для розробки та вдосконалення алгоритмів синхронізації, що дозволить максимально ефективно використовувати ресурси мережі та оптимізувати розподіл трафіку. Це допоможе підвищити продуктивність та надійність мережі SDH, знизити витрати на її експлуатацію та забезпечити більш якісне обслуговування користувачів.

Апробація результатів роботи. Результати дослідження були презентовані та обговорені на науково-технічній конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету у 2023 році.

1 ОСОБЛИВОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ МЕРЕЖ ЗА ТЕХНОЛОГІЄЮ SDH

Технологія SDH (Synchronous Digital Hierarchy) має декілька особливостей, серед яких варто виокремити наступні:

Синхронізація і управління часом: SDH ґрунтується на синхронному вимірюванні часу, що дозволяє координувати передачу даних у мережі за допомогою згодованих тактових сигналів.

Ієрархічна структура: SDH використовує ієрархічну структуру, яка дозволяє гнучко організовувати мережу з різними швидкостями передачі даних, починаючи від низьких рівнів (STM-1) і закінчуючи високими (STM-N).

Мультиплексування і статистика: SDH забезпечує мультиплексування каналів на різних рівнях ієрархії, а також здійснює збір статистики про передачу даних для подальшого аналізу і управління мережею.

Захист і відновлення: SDH надає механізми захисту даних і маршрутизації, що дозволяють вирішувати проблеми, пов'язані з відмовою і відновленням даних в разі неполадок у мережі.

Гнучкість і масштабованість: Технологія SDH забезпечує гнучкість в конфігурації мережі і можливість її масштабування залежно від потреб користувача і обсягу трафіку.

Підтримка різноманітних послуг: SDH дозволяє передавати різні типи трафіку, включаючи голос, дані, відео і т. д., забезпечуючи надійну і ефективну передачу для різноманітних послуг.

Інтеграція з іншими технологіями: SDH може інтегруватися з іншими цифровими технологіями передачі даних, такими як Ethernet і IP, що дозволяє побудувати багатофункціональні і універсальні мережі.

Короткий огляд синхронізаційних каналів ЦСП та їх використання сучасними методами оптимізації телекомунікаційних систем і мереж продемонстрував їх високу ефективність [3]. Цифрові системи передачі інформації (ЦСП) відзначаються значними перевагами перед аналоговими, такими як:

- 1) висока надійність і стійкість до завад завдяки використанню лінійного і стійкого до завад кодування;
- 2) менша залежність якості передачі інформації від довжини лінії зв'язку завдяки використанню регенераторів;
- 3) стабільні параметри ЦСП;
- 4) зменшення розмірів та маси обладнання за рахунок послідовного комутування та обслуговування кожного каналу;
- 5) можливість регенерації рівня і форми сигналів у лініях зв'язку;
- 6) гнучкість програм управління ЦСП [3].

Гнучкість програм означає:

- а) універсальність наданої інформації;
- б) інтеграційні можливості в інформаційних та комп'ютерних мережах;
- в) оптимальна маршрутизація за будь-яким критерієм якості;
- г) можливість організації мультисервісних послуг, таких як інтернет, білінг і т.д.

Це настільки значна перевага перед аналоговими системами, що еру цифровізації вважають цифровим ерою.

Однак ЦСП мають свої недоліки:

- 1) значно більша потрібна ширина смуги частот сигналів для тієї ж кількості каналів порівняно з частотним розподілом;
- 2) необхідність підсистеми синхронізації, що впливає на стійкість до завад, складність якої зростає зі збільшенням кількості каналів.

Використання сучасних оптоволоконних ліній зв'язку з широкою смугою частот та можливістю хвильового мультиплексування (WDW) наразі дозволяє легко компенсувати перший недолік.

Другий недолік можна розглядати як певну вартість, яку доводиться заплатити за всі отримані переваги. Однак ідеї глобальної оптимізації ЦСП з каналами синхронізації, які подані далі, спрямовані на пом'якшення цього недоліку.

1.1. Основні положення про синхронізацію в цифрових системах і мережах передачі інформації

Основні положення про синхронізацію в цифрових системах і мережах передачі інформації включають наступне:

Визначення синхронізації: Синхронізація - це процес забезпечення узгодженості часових параметрів між відправником і отримувачем сигналу в мережі передачі даних.

Необхідність синхронізації: Синхронізація необхідна для ефективної передачі даних у цифрових мережах, де точний час і порядок прийняття даних важливі для їхнього правильного відновлення.

Компоненти синхронізації: Системи синхронізації включають в себе генератори тактових імпульсів, методи синхронізації тактових сигналів між вузлами мережі, а також механізми вирівнювання часових параметрів.

Типи синхронізації: Існують різні типи синхронізації, такі як часова, фазова і частотна синхронізація, кожен з яких має свої особливості і методи реалізації.

Протоколи синхронізації: В цифрових мережах існують спеціальні протоколи для передачі і управління синхронізацією між вузлами мережі, такі як Synchronous Ethernet, IEEE 1588 Precision Time Protocol (PTP) і інші. Вплив на мережеві параметри: Синхронізація впливає на такі параметри мережі, як

пропускна здатність, затримка передачі даних, стійкість до помилок і ефективність передачі [3].

Застосування: Синхронізація використовується в різних областях, включаючи телекомунікаційні мережі, мережі передачі даних, а також в системах радіозв'язку, вимірювальних системах і багатьох інших.

1.2 Види синхронізації в цифрових телекомунікаційних системах

В науковій літературі [4-5] існують різні визначення синхронізації. Синхронізація означає процес встановлення та підтримки певних відносин у часі між двома чи більше процесами.

Головна мета синхронізації у цифрових системах та мережах полягає в забезпеченні збігу значущих моментів у часі та одержанні однакової швидкості передачі та прийому інформації у цифрових мережах зв'язку. Під значущими моментами розуміються моменти початку та закінчення інтервалів часу, протягом яких передається одиниця інформації.

Розрізняють кілька видів синхронізації у цифрових телекомунікаційних системах та мережах: тактову (поелементну), групову та циклову синхронізацію [3, 4]. Тактова синхронізація дозволяє правильно виділяти одиничні елементи на приймальному кінці та забезпечує найкращі умови для їх реєстрації.

Якщо тактова частота приймальної системи комутації не співпадає з передавальною тактовою частотою, можливе прослизання: зрив синхронізації через втрату тактового інтервалу або вставлення [4]. Це прослизання призводить до збільшення кількості помилок при прийманні сигналів у цифрових мережах. Надійність тактової синхронізації є життєво важливою для цифрових систем передачі інформації.

Алгоритм мультиплексування в мережах SDH, відповідно до рекомендації G.709, включає такі процеси:

- Розміщення у SDH (SDH Mapping): Це процедура узгодження сигналів навантаження з віртуальними контейнерами у мережі SDH. Вона забезпечує відповідність цифрових потоків відповідним віртуальним контейнерам у межах мережі SDH. Розміщення у SDH може бути синхронним або асинхронним.

- SDH-мультиплексування (SDH Multiplexing): Це процедура об'єднання кількох сигналів низького порядку до сигналів високого порядку або об'єднання декількох сигналів високого порядку до мультиплексорної секції.

- SDH-вирівнювання (SDH Aligning): Це процедура, під час якої в транспортний або адміністративний блок вводиться інформація про розташування початку циклу навантаження відносно початку циклу обслуговуючого мережевого рівня.

Загальний алгоритм мультиплексування наведений на рис.1.1 дозволяє формувати потік STM будь-якого рівня без проміжного мультиплексування в потоки STM-1 [4].

Принцип мультиплексування в SDH (Synchronous Digital Hierarchy) базується на розділенні та об'єднанні цифрових сигналів для ефективного використання пропускної здатності в мережі. Основними компонентами принципу мультиплексування в SDH є контейнери (віртуальні контейнери), мультиплексори та демультіплексори.

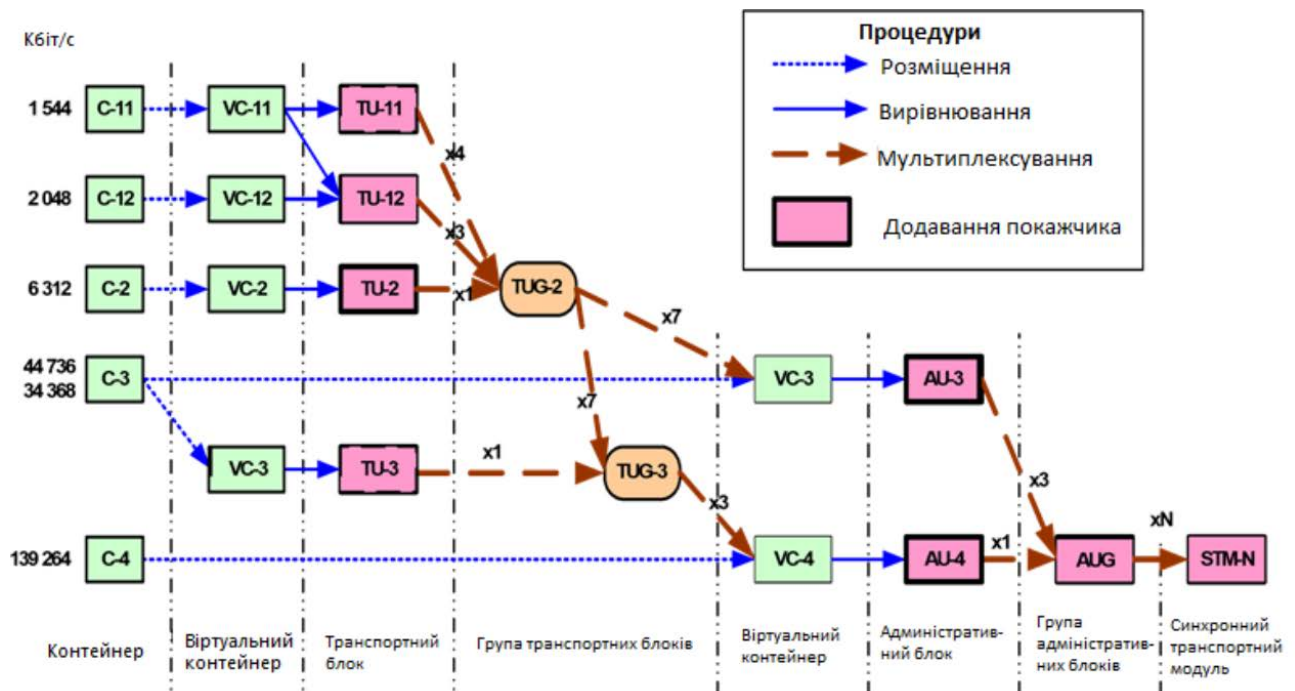


Рисунок 1.1 – Загальний алгоритм мультиплексування у SDH

— Контейнери (віртуальні контейнери): Контейнери - це структурні блоки, що використовуються для упакування цифрових сигналів перед передачею через мережу SDH. Кожен контейнер містить незалежний потік даних та додаткову інформацію для синхронізації та керування. У SDH використовуються різні розміри контейнерів, такі як VC-12, VC-3, VC-4 та інші, залежно від потреб мережі.

— Мультиплексори: Мультиплексори призначені для об'єднання різних потоків даних у високошвидкісний сигнал передачі. Вони приймають вхідні дані з різних джерел, упаковують їх у контейнери та об'єднують для передачі через оптичний канал мережі SDH. Мультиплексори також відповідають за додавання додаткової інформації для синхронізації та керування.

— Демультіплексори: Демультіплексори виконують обернену функцію мультиплексорів. Вони приймають сигнал SDH з оптичного каналу,

розбирають його на окремі контейнери та направляють кожен контейнер до відповідного призначення в мережі.

Принцип мультиплексування в SDH дозволяє ефективно використовувати пропускну здатність мережі та забезпечує передачу різноманітних цифрових потоків з різних джерел через єдиний оптичний канал з мінімальною затримкою та втратами сигналу.

1.3 Топологія та архітектура транспортних мереж SDH

Для розробки мережі необхідно пройти кілька етапів, перший з яких - вибір топології. Для побудови систем SDH застосовують декілька базових стандартних топологій.

Топологія "точка – точка", яка відображає сегмент мережі, що з'єднує два вузли A і B, представляє собою базовий і найпростіший приклад структури мережі SDH (див. рис.1.2). Цей тип мережі може бути здійснений за допомогою термінальних мультиплексорів (ТМ), як у випадку без резервування каналу приймання/передавання, так і за схемою із стовідсотковим резервуванням.

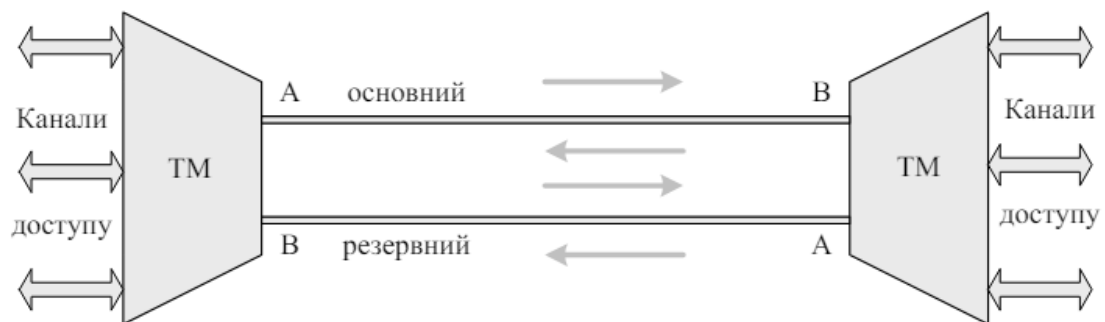


Рисунок 1.2 – Топологія “точка - точка”

Незважаючи на її простоту, ця основна топологія є найбільш поширеною при передачі великих потоків даних через високошвидкісні магістральні канали. Така топологія також використовується як складова частина більш складних мережових структур.

Топологія "послідовний лінійний ланцюг" використовується у випадках, коли інтенсивність трафіку в мережі є невеликою і потрібні розділові вузли для введення/виведення каналів доступу. Ця топологія може бути представлена як простий послідовний лінійний ланцюг без резервування, як показано на рисунку 1.3, або як складніший ланцюг з резервуванням, зображений на рисунку 1.4. Останній варіант часто називають "спрощеним кільцем".

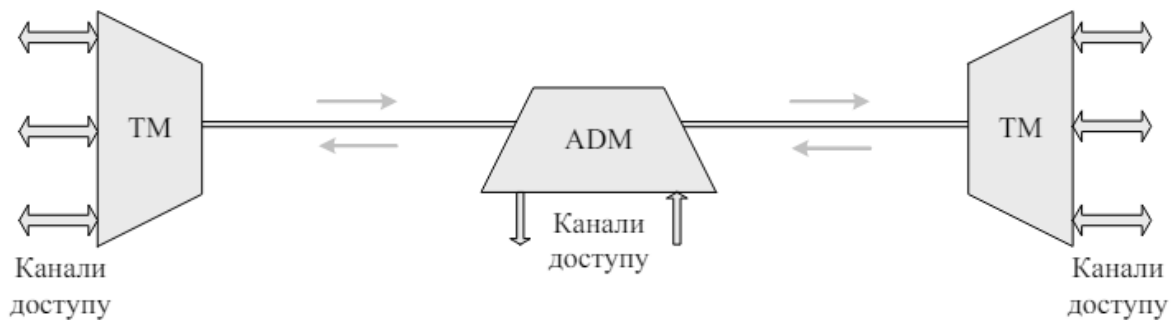


Рисунок 1.3 – Топологія “послідовний лінійний ланцюг”
без резервування

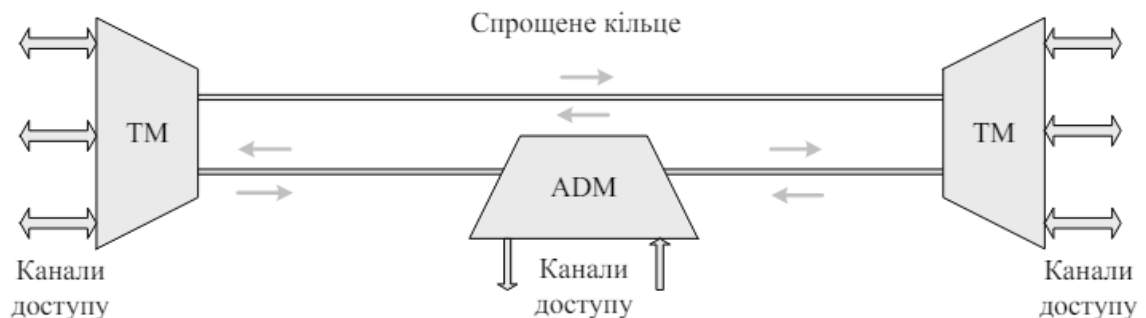


Рисунок 1.4 – Топологія “послідовний лінійний ланцюг” з
резервуванням

Топологія "зірка" виконує роль концентратора. У цій структурі один з віддалених вузлів мережі, що пов'язаний з центром комутації або з основним вузлом мережі SDH, виступає у ролі концентратора. Тут частина трафіку може бути спрямована до терміналів користувача, а інша частина може бути розподілена до інших віддалених вузлів (див. рисунок 1.5). Іноді таку схему називають оптичним концентратором, коли на входах мультиплексора SMUX подаються частково заповнені синхронні цифрові потоки, а його вихід відповідає STM-N.

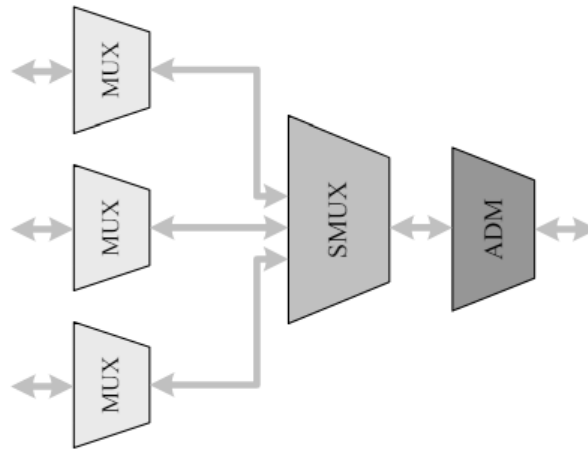


Рисунок 1.5 – Топологія “зірка” з мультиплексором SMUX в ролі концентратора

Топологія "кілце" широко застосовується для створення мереж SDH на перших двох рівнях ієрархії (див. рис.1.6).

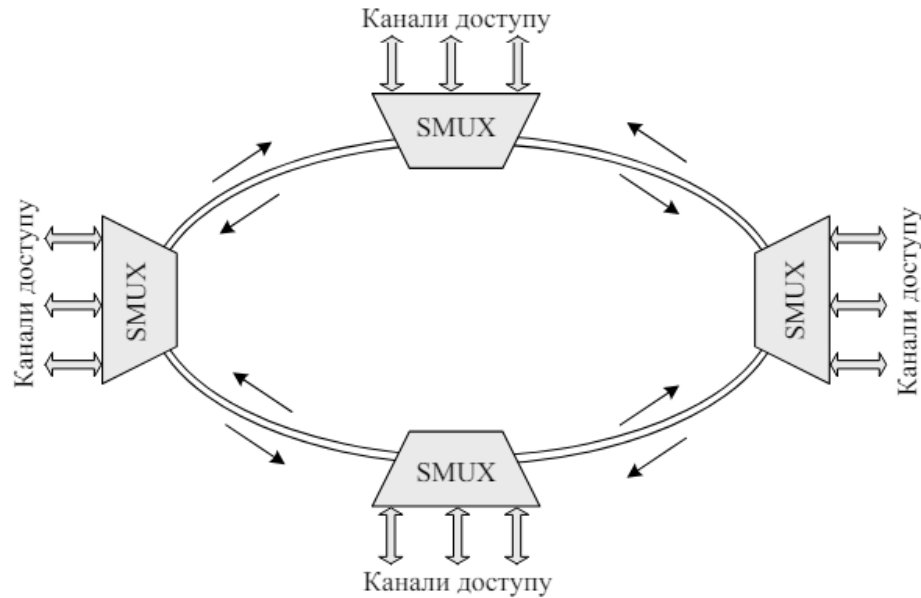


Рисунок 1.6 – Топологія “кільце”

Основна перевага цієї структури полягає в тому, що легко організується резервування завдяки наявності у синхронних мультиплексорах двох пар оптичних каналів для приймання/передавання, що дозволяє створювати подвійне кільце з зустрічними потоками.

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

— Схема 1 + 1: При конфігурації 1 + 1 (див. рис. 1.7), сигнал STM-N передається як по основному, так і по резервному трактах. При отриманні сигналу функцією MSP (Multiplex Section Protection) вибирається найкращий сигнал за допомогою байтів K1 і K2 заголовка STM або на основі інформації, отриманої системою керування [5]. Оскільки сигнал постійно передається по резервному тракту, схема 1 + 1 не дозволяє збільшити трафік за рахунок організації додаткового каналу (рис. 1.7).

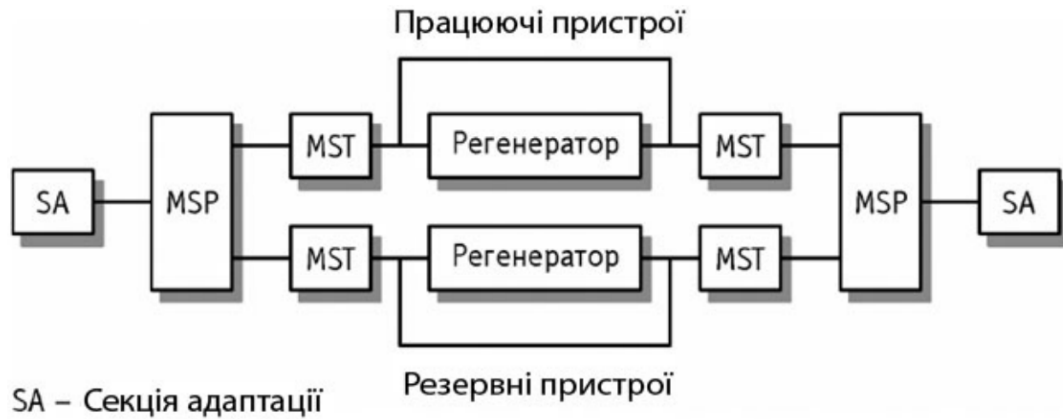


Рисунок 1.7 – Схема резервування 1+1

— 1: n

У схемі 1: n, де n варіюється від 1 до 14, один резервний елемент виділяється на n елементів мережі. При пошкодженні однієї з робочих секцій сигнал STM-N автоматично переходить на резервний тракт. Якщо під час тестування мережі не виявлено ніяких проблем, по резервному тракту може передаватися незахищений додатковий сигнал. Коли секція захисту використовує один з робочих трактів, додатковий сигнал видаляється з резервного тракту. Схему резервування 1: n зображено на рисунку 1.8.

При проектуванні мережі SDH архітектурні рішення можуть бути розроблені на основі базових топологій мережі, які були розглянуті вище.

Одним з прикладів є **радіально-кільцева архітектура**, зразок якої представлений на рисунку 1.9.

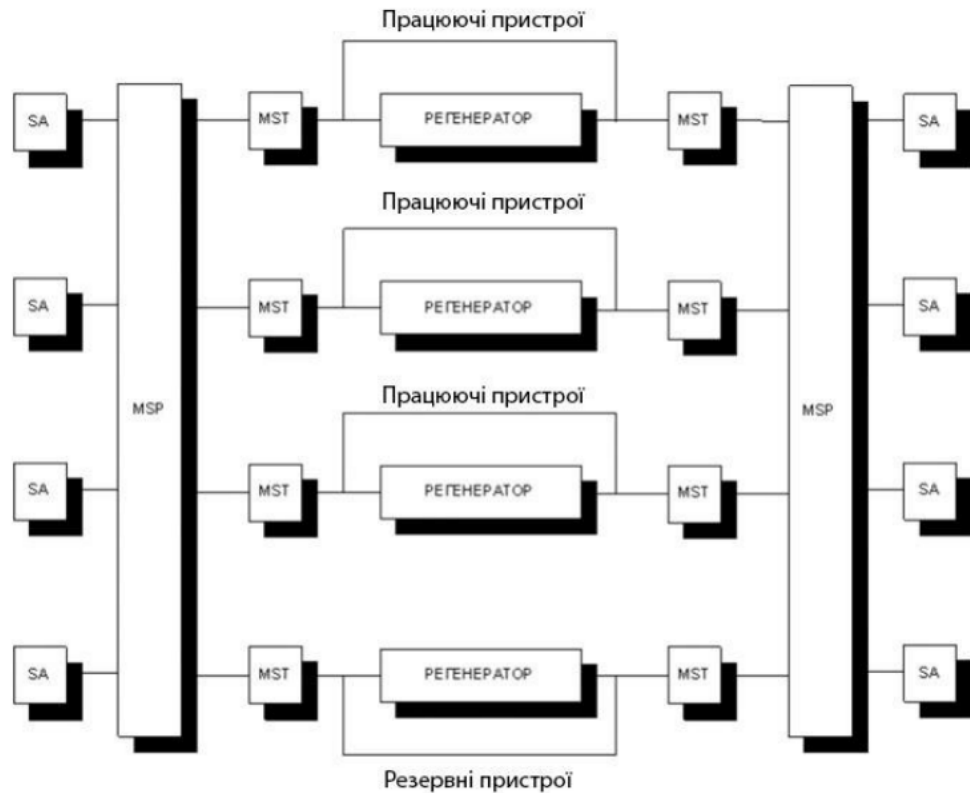


Рисунок 1.8 – Схема резервування 1: n

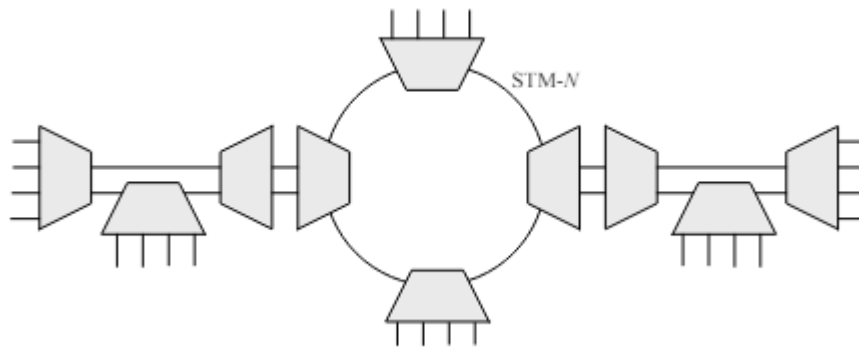


Рисунок 1.9 – Радіально – кільцева архітектура мережі SDH

Ця мережа фактично формується на основі використання двох базових топологій: "кільце" і "послідовний лінійний ланцюг". Кількість радіальних гілок обмежується на основі припустимого навантаження (загальної кількості каналів доступу на кільце).

Топологія "кільце-кільце" є ще одним часто використовуваним рішенням в архітектурі мереж SDH. У цій конфігурації кільця можуть бути однакового або різного рівня ієрархії. На рисунку 1.10 показана схема з'єднання двох кілець рівня STM-4, а на рисунку 1.11 зображена каскадна схема з'єднання кілець рівня STM-1, STM-4 і STM-16.

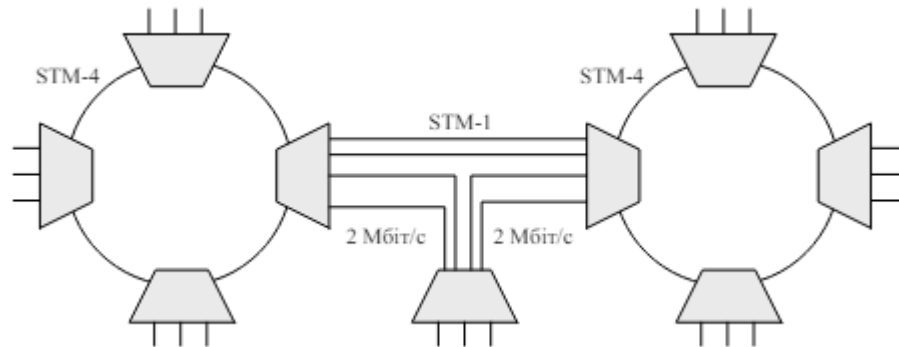


Рисунок 1.10 – Два кільця одного рівня ієрархії

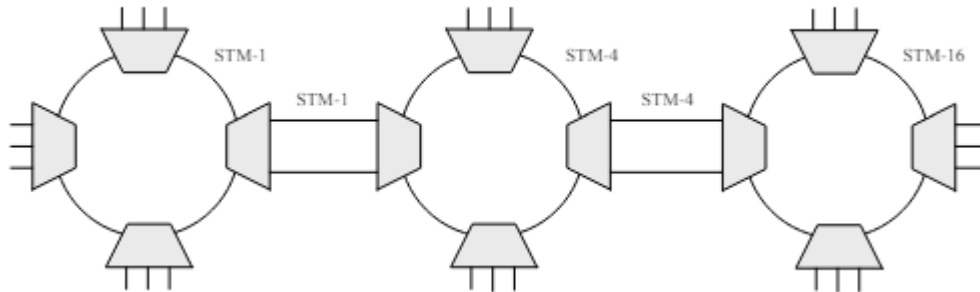


Рисунок 1.11 – Каскадне з'єднання трьох кілець

Архітектура лінійного типу передбачає великі відстані між термінальними мультиплексорами, що далеко перевищують максимально рекомендовані межі для мінімізації загасання сигналу у волоконно-оптичних кабелях. У таких випадках між мультиплексорами необхідно встановлювати регенератори для відновлення втраченого оптичного сигналу (див. рис.1.12).

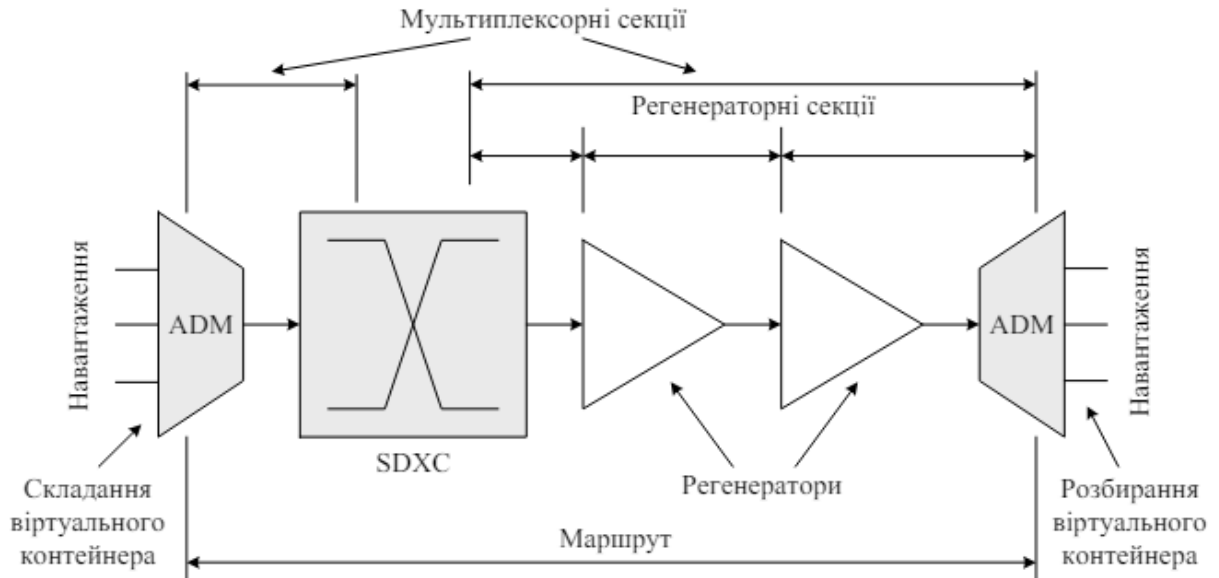


Рисунок 1.12 – Мережа SDH типу “точка – точка” і її сегментація

Модель трирівневої мережної структури передбачає ієрархічну організацію, яка відображає сучасні тенденції у розвитку телекомунікаційних мереж у більшості розвинених країн. Згідно з цією моделлю, мережа складається з трьох рівнів, що дозволяє побудувати гнучку, надійну та економічну інфраструктуру (див. рис. 1.13).

На верхньому рівні (базовому, магістральному) знаходяться головні вузли, обладнані крос-комутаторами типу 4/4. Основними засобами обміну даними на цьому рівні є віртуальні контейнери VC-4, а кожна з ліній може переносити декілька STM-4 або STM-16. Структура мережі на цьому рівні має ґратчасту організацію [5].

Середній рівень складається з набору з'єднувальних (регіональних) мереж, кожна з яких охоплює певну територію. Вузли цих мереж обмінюються не лише віртуальними контейнерами VC-4, але й меншими одиницями (наприклад, VC-12). Таким чином, у вузлах використовуються крос-комутатори типу 4/1, а також мультиплексори введення/виведення. Ключові вузли цього рівня

з'єднуються з одним або кількома вузлами верхнього рівня. Структура з'єднувальних мереж може мати як кільцеву, так і ґратчасту форму. У лініях встановлюються тракти STM-4.

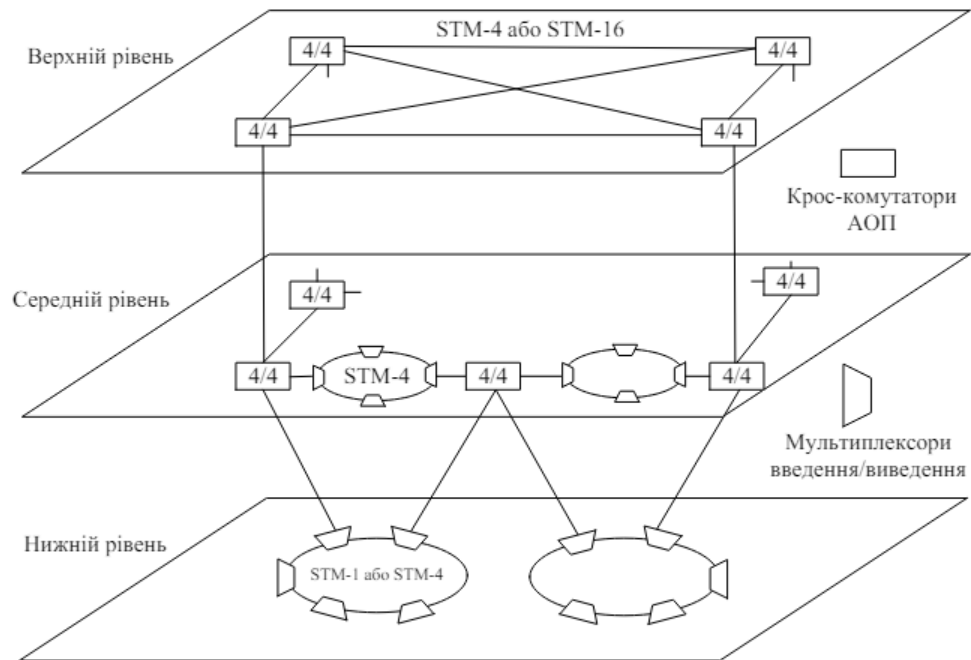


Рисунок 1.13 – Трирівнева архітектура мережі SDH

На нижньому рівні розташовані мережі доступу, які включають основні джерела та приймачі навантаження. Кожна з мереж доступу підключена до одного або кількох вузлів середнього рівня. Структура цих мереж є кільцевою і базується на мультиплексорах введення/виведення тракту STM-1 або STM-4.

Узагальнено, функції кожного рівня можна описати так: верхній рівень формує мережу трактів VC-4, середній рівень перерозподіляє тракти VC-12 і VC-3 між VC-4, а нижній рівень забезпечує доступ до мережі користувачів [5].

Така ієрархічна архітектура має свої переваги, включаючи:

- можливість незалежного розвитку і реконструкції кожного рівня;

- концентрація потоків навантаження, що дозволяє використовувати лінійні тракти з високою пропускнуою здатністю (це економічно вигідно при будівництві мережі);

- здатність забезпечувати контроль, управління та резервування на кожному рівні, що спрощує та прискорює вирішення наслідків відмов у мережі.

Описана модель надає лише загальну схему, але можливі різні відхилення від неї. У кожному конкретному випадку може бути змінена кількість рівнів, структура мережі, функції рівнів тощо. Для побудови мереж синхронної цифрової ієрархії типовими є кільцеві структури на базі мультимплексорів введення/виведення та гратчасті на базі крос-комутаторів.

1.4 Особливості мереж і методи синхронної цифрової ієрархії (SDH)

Наявність вищеописаних недоліків PDH послужила мотивацією для розробки нової синхронної ієрархії, відомої як SDH (Synchronous Digital Hierarchy), у 80-х роках XX століття. Давайτε розглянемо основні принципи тактової синхронізації цієї ієрархії. Існують два основних методи тактової синхронізації елементів мережі NE, які описані в Рекомендації ITU-T G.810 [5]:

1. Ієрархічний метод примусової тактової синхронізації з використанням пар ведучий-ведений таймери.

2. Неієрархічний метод взаємної тактової синхронізації вузлів мережі.

Обидва ці методи можуть використовуватись окремо або у поєднанні, але досвід показує, що перший метод широко застосовується на практиці. Розгалужене впровадження мереж SDH, що часто використовують кільцеву і коміркову топології мережі разом зі звичайною топологією "точка-точка", призвело до додаткових викликів у вирішенні проблем тактової синхронізації через зміни маршрутів сигналів у процесі роботи мережі [6].

Згідно загальноприйнятій літературі, елементи мережі SDH мають кілька резервних джерел тактової синхронізації:

1. Зовнішній мережевий таймер, який подає сигнал на елемент мережі NE від центрального генератора синхроімпульсів, відомого як первинний еталонний генератор PRC. Це коливання з частотою 2048 кГц.

2. Сигнал з первинного цифрового потоку, що надходить на інтерфейс доступу до NE зі швидкістю передачі 2048 кбіт/с, що функціонує як аналог таймера транзитного вузла TNC, також з частотою 2048 кГц.

3. Сигнал з лінійного сигналу STM-N, який надходить на оптичний інтерфейс NE і функціонує як лінійний таймер з такою ж частотою.

4. Внутрішній таймер, який виробляється внутрішнім генератором синхроімпульсів даного NE й функціонує як таймер локального вузла LNC, також з такою ж частотою.

Отже, мережі SDH, як правило, ґрунтуються на ієрархічній схемі, де первинний еталонний генератор або таймер подає сигнали на кілька точок в мережі, створюючи вторинні джерела тактової синхронізації, які далі розповсюджуються по мережі.

У зв'язку з тим, що передавані цифрові потоки зі швидкістю 2048 кбіт/с знаходяться у віртуальних контейнерах (VC), які можуть переміщатися в рамках структури вкладених контейнерів і використовувати покажчики, сигнали VC-12 мають бути виключені з системи тактової синхронізації мережі SDH. Відносна нестабільність джерела синхросигналу внутрішнього таймера невелика, приблизно $(1...5) \cdot 10^{-6}$, тому використання його для отримання синхроімпульсів необхідно тільки у крайньому випадку. Таким чином, найбільш надійними джерелами синхронізації є сигнал зовнішнього мережного таймера і лінійний таймер.

Давайте розглянемо режими роботи джерел тактових синхросигналів. Передбачено чотири режими роботи генераторів вузлів мережі:

1. Режим первинного еталонного таймера PRC (майстервузол).
2. Режим примусової тактової синхронізації, або режим веденого генератора, що задає (транзитний і (або) місцеві вузли).
3. Режим утримання з точністю утримання $5 \cdot 10^{-10}$ для транзитного вузла та $1 \cdot 10^{-8}$ для місцевого вузла з добовим дрейфом $1 \cdot 10^{-9}$ і $2 \cdot 10^{-8}$ відповідно.
4. Вільний режим (для транзитних і місцевих вузлів), точність підтримки якого залежить від класу джерела.

Міжнародними організаціями ITU-T і ETSI запропоновано використовувати поняття "рівень якості хронуючого джерела". Цей рівень може бути переданий у вигляді повідомлення про статус синхронізації SSM (Synchronization Status Message) через заголовок сигналу STM-N або послідовність резервних бітів у сигналі цифрового потоку E1. У разі збою в мережі, який викликає захисне перемикання, NE має можливість надсилати повідомлення таймеру про необхідність використання відновленого сигналу тактової синхронізації, отриманого з альтернативного маршруту [7].

Створення системи розподілених первинних еталонних хронуючих джерел дозволяє не лише збільшити надійність тактової синхронізації мереж SDH, але й уникнути можливих порушень тактової синхронізації під час захисного перемикання в коміркових або кільцевих мережах SDH.

У системах SDH також має місце джитер завантаження, пов'язаний з процесами стафінгу при завантаженні плезіохронного сигналу. Практичні методи компенсації випадкового джитера в цифрових системах передачі не дуже детально розглядаються в літературі телекомунікаційних систем і мереж. Хоча існують рекомендації та методи вимірювання їх параметрів, боротьба з випадковими фазовими тремтіннями та дрейфом фази ще потребує подальших досліджень.

1.5 Висновки до розділу

У розділі було розглянуто основні особливості технології Synchronous Digital Hierarchy (SDH) та її різноманітні аспекти.

Однією з ключових особливостей технології SDH є її базування на синхронній передачі даних, що дозволяє ефективно координувати роботу мережі за допомогою згодованих тактових сигналів.

Важливим аспектом є також положення про синхронізацію в цифрових системах і мережах передачі інформації, що відображається у вимогах до точності синхронізації для надійної передачі даних.

Розділ також розглянув різні види синхронізації в цифрових телекомунікаційних системах, включаючи внутрішню, зовнішню, інтрасистемну і інші, що дозволяє забезпечити стабільну роботу мережі у різних умовах.

Топологія та архітектура транспортних мереж SDH також були вивчені, виявивши, що SDH має гнучку ієрархічну структуру, що дозволяє ефективно організовувати передачу даних на різних рівнях і масштабах.

Нарешті, розділ підкреслив особливості мереж і методи синхронної цифрової ієрархії SDH, відзначаючи їх гнучкість, масштабованість та здатність інтегруватися з іншими цифровими технологіями.

Отже, вивчення особливостей технології SDH дозволить краще розуміти її принципи функціонування та застосування у сучасних цифрових мережах передачі даних.

2 ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК СИНХРОНІЗАЦІЇ В МЕРЕЖІ SDH

2.1 Аналіз алгоритмів синхронізації в цифрових телекомунікаційних мережах

У мережах SDH (Synchronous Digital Hierarchy) існують різні алгоритми синхронізації, які забезпечують правильну передачу даних і управління ресурсами. Основні з них включають:

Алгоритм синхронізації виробника і споживача (Producer-Consumer Synchronization Algorithm): Цей алгоритм використовується для узгодження та синхронізації між виробниками (джерелами даних) та споживачами (приймачами даних) у мережі SDH. Він забезпечує вирівнювання тактових імпульсів між різними частинами мережі.

Алгоритм цифрового вирівнювання (Digital Phase Locked Loop, DPLL): DPLL використовується для управління фазою та частотою сигналів в мережі SDH. Цей алгоритм слідує за зсувом фази між сигналами та компенсує його, щоб забезпечити правильну синхронізацію.

Алгоритм вимірювання джитера (Jitter Measurement Algorithm): Цей алгоритм використовується для вимірювання рівня джитера в мережі SDH. Він аналізує зміни в часовій діаграмі сигналу та визначає стабільність передачі даних.

Алгоритм корекції джитера (Jitter Correction Algorithm): Цей алгоритм використовується для корекції джитера в мережі SDH. Він використовує інформацію, отриману від алгоритму вимірювання джитера, щоб вплинути на параметри передачі даних та забезпечити стабільну роботу мережі [7].

Ці алгоритми спільно забезпечують ефективну синхронізацію та управління трафіком у високошвидкісних мережах SDH, що дозволяє досягти надійності та ефективності передачі даних.

Зокрема, в мережах SDH також використовуються алгоритми моніторингу та керування резервними шляхами, які допомагають у виявленні та відновленні збоїв у мережі.

Алгоритм моніторингу резервних шляхів: Цей алгоритм стежить за станом резервних шляхів у мережі SDH та вчасно виявляє будь-які збої чи перешкоди на основних маршрутах передачі даних. Він дозволяє перехоплювати трафік та перенаправляти його через резервні шляхи для забезпечення неперервності обслуговування користувачів.

Алгоритм автоматичного переключення на резервний шлях (Automatic Protection Switching, APS): Цей алгоритм дозволяє автоматично переключати трафік з основного шляху на резервний у випадку виявлення збоїв або втрати сигналу. Він забезпечує швидке відновлення мережі після виникнення проблем.

Алгоритм керування пропускнуою здатністю резервних шляхів: Цей алгоритм визначає оптимальні параметри для використання резервних шляхів у випадку переключення трафіку. Він враховує загальну пропускну здатність мережі та стан основних та резервних шляхів для ефективного розподілу трафіку.

Ці алгоритми допомагають підтримувати стабільність та надійність мережі SDH, а також забезпечують швидке відновлення після виникнення будь-яких проблем.

2.2 Методи тактової синхронізації у цифрових мережах передачі інформації, їх переваги і недоліки

Існує кілька основних методів синхронізації у цифрових мережах передачі інформації [7]:

- Плезіохронний метод;
- Взаємна синхронізація;

— Примусова синхронізація;

Взаємна синхронізація передбачає, що всі вузли мережі встановлюють загальну частоту шляхом обміну еталонними частотами. Цей підхід дозволяє системі залишатися функціональною навіть у випадку відмови одного з генераторів у будь-якому вузлі мережі. Однак недоліки полягають у тому, що точне значення усередненої частоти може бути не визначене, і система чутлива до змін у структурі мережі.

Примусова синхронізація (ведучий-ведений) передбачає передачу еталонної частоти від стабільного генератора до обраних комутаційних вузлів з менш стабільним місцевим генератором. Після цього ці вузли синхронізують свої генератори за допомогою фазово-автономних петель (ФАПЧ) за еталонною частотою та компенсують тремтіння, спричинені передавальною лінією. Однак цей метод потребує застосування резервних генераторів з малим дрейфом частоти, що збільшує витрати та складність системи.

Змішані методи синхронізації поєднують у собі різні підходи до синхронізації, щоб забезпечити найкращу ефективність системи. Наприклад, може застосовуватися комбінація взаємної та примусової синхронізації для досягнення оптимального балансу між точністю та вартістю реалізації.

У системах єдиного часу та в телебаченні також використовується інерціальна або комбінована синхронізація з поправками, яка дозволяє підтримувати точний час у мережі навіть у разі змін у внутрішніх параметрах або збоїв у обладнанні.

Змішаний метод синхронізації у цифрових телекомунікаційних мережах, який поєднує принципи взаємної і примусової синхронізації, не забезпечує однакової фази у генераторів і є досить складним у використанні. Кожен з розглянутих методів синхронізації має свої переваги й недоліки. Проте примусовий метод синхронізації гарантує високу стабільність частоти і є найбільш простим у впровадженні [8].

2.2.1 Пристрої систем тактової синхронізації та їхні параметри

Вимоги до пристроїв тактової синхронізації включають наступне [8,9]:

- Висока точність синхронізації.
- Мінімальний час потрібний для встановлення синхронізації як під час включення, так і після втрати зв'язку.
- Збереження синхронізації при наявності перешкод або короткочасних перерв у зв'язку.
- Незалежність точності синхронізації від статичної структури переданого повідомлення.

Метод примусової синхронізації може базуватися на використанні окремого каналу, через який передається лише сигнал синхронізації, необхідний для налаштування місцевого генератора, або на використанні спільного сигналу, що включає інформаційну послідовність [9] та сигнал синхронізації. На практиці також використовується інший метод - додатковий канал синхронізації, ефективність якого потребує подальших досліджень. За методом формування тактових імпульсів пристрої синхронізації з примусовою синхронізацією поділяються на розімкнені (резонансні без зворотного зв'язку) та замкнені зі зворотним зв'язком (ФАПЧ або ЧАП).

Перевага розімкнених резонансних систем полягає у простоті реалізації, але недоліками є сильна залежність точності синхронізації від статистичної структури інформаційного коду та ризик порушення синхронізму при короткочасних перервах зв'язку.

Замкнені пристрої синхронізації можуть бути з безпосереднім впливом сигналу на місцевий генератор тактових імпульсів або з непрямим впливом, якщо перед ЗГ використовується фазо-зсувне коло.

2.3 Архітектура синхронізації

У цьому розділі розглянуті основні принципи передачі сигналів у мережах SDH, що є важливими для розуміння питань синхронізації. В обох мережах використовується синхронне мультиплексування сигналів, що має дві основні переваги: одноетапне мультиплексування та можливість крос-комутації та мультиплексування вводу-виводу.

У існуючих асинхронних системах для досягнення високої швидкості передачі сигналів потрібно мультиплексувати сигнали на кожному рівні ієрархії передачі. Наприклад, сигнали DS1 мультиплексуються в DS2, потім в DS2 в DS3, а потім високошвидкісні сигнали оптичної лінії. У SDH мультиплексування відбувається за один крок, оскільки сигнал є синхронним.

Друга важлива перевага полягає у можливості крос-комутації та мультиплексування вводу-виводу. Для отримання сигналу DS1 або E1 в існуючих асинхронних системах потрібно демультимплексувати повний сигнал. Високошвидкісний сигнал оптичної лінії також повинен бути демультимплексований в DS3, DS3 в DS2, DS2 в DS1 або E1. Щоб отримати один з них, потрібно мати всі сигнали DS1 або E1. У SDH DS1 або E1 можуть бути отримані без демультимплексування повного сигналу [10].

Синхронний транспортний модуль рівня 1 (STM-1) з швидкістю передачі 155,520 Мбіт/с виступає як базова швидкість потоку для SDH. Всі менш швидкісні корисні навантаження, такі як DS1, E1 або DS3, упаковуються в STM-1. Для отримання більш високошвидкісних сигналів використовується мультиплексування N транспортних модулів STM-1 в STM-N, що не потребує додаткових заголовків або обробки. Сигнал STM-1 складається або з сигналів трьох адміністративних блоків рівня 3 (AU-3), або з одного блоку AU-4 [10].

Корисні навантаження можуть бути упаковані в SDH різними способами, що показано на рис. 2.1. Спочатку сигнали DS1 або E1 включаються до віртуального контейнера (VC-11, VC-12, відповідно), який містить корисне навантаження та інформацію заголовка. Потім VC-11 або VC-12 упаковуються в більш швидкісний віртуальний контейнер VC, такий як VC-3, який може використовуватися для перенесення сигналів DS3. Сигнал VC-3 має додаткову інформацію заголовка. Нарешті, більш високошвидкісний сигнал УС упаковується в сигнал AU-3 або AU-4, які входять до складу STM-1 [10].

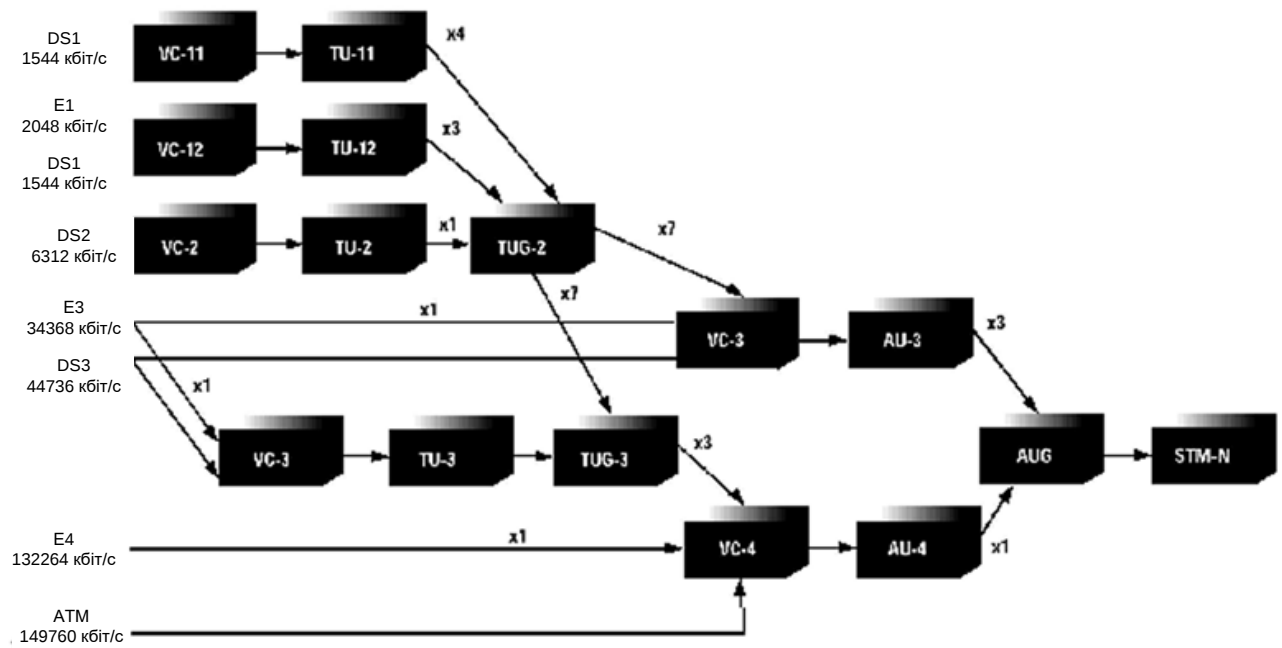


Рисунок 2.1 – Мультиплексування у мережі SDH

Для забезпечення синхронізації цифрових мереж застосовуються різні методи: плезіохронна робота, ієрархічна робота приймача-передавача, взаємна синхронізація, імпульсне доповнення (стафінг) та вказівники. Кожен з них буде розглянутий детальніше нижче. Кожен вузол отримує еталонний сигнал від свого незалежного джерела синхронізації. Допустима частота зсувів

зберігається завдяки високій точності синхронізації на обох боках з'єднання. Стандарти визначають межу стабільності генераторів, які використовуються для синхронізації плезіохронних з'єднань. У мережах, які використовують плезіохронні ситуації, керуючі генератори повинні забезпечувати тривалу нестабільність частоти в межах $1 \cdot 10^{-11}$. Це стандартний режим роботи для з'єднання через адміністративні межі [8].

Джерело основного еталонного сигналу у керуючому вузлі генерує розгалужений та розподілений еталонний сигнал синхронізації. Керуючий вузол відправляє свій еталонний сигнал до приймальних вузлів. Еталонний синхросигнал ієрархічно розподіляється по мережі. Двома основними складовими цієї мережі є генератори приймача, що використовуються для відновлення еталонного сигналу синхронізації, та цифрові шляхи, які використовуються для передачі синхросигналів у мережі.

Під час взаємної синхронізації інформація про синхронізацію використовується всіма вузлами мережі. Кожен генератор надсилає та отримує сигнали еталонної синхронізації до всіх інших генераторів у мережі. Синхронізація ланцюга визначається усередненням всіх сигналів синхронізації, що надходять кожному генератору від усіх інших генераторів у мережі. Теоретично ця робота може забезпечити ідентичні сигнали синхронізації на кожному вузлі, але в реальних умовах, з урахуванням неідеальних генераторів та передачі інформації про синхронізацію, синхронізація піддається флуктуаціям та спрямовується на загальну частоту [9].

Цей метод застосовується для передачі асинхронних потоків на рівні DSI / EI. Цифрові потоки, які підлягають мультиплексуванню, ущільнюються додатковими фіктивними імпульсами, що збільшує їх швидкість до швидкості незалежного локального генератора. Вихідна швидкість мультиплексора перевищує суму вхідних швидкостей. Фіктивні імпульси не несуть жодної інформації, вони кодуються для ідентифікації. На стороні приймача фіктивні

імпульси видаляються. Отримані прогалини в потоці імпульсів потім видаляються, відновлюючи початковий потік даних.

2.4 Характеристики синхронізації у мережі SDN

Характеристики синхронізації в ієрархічній мережі передавача-приймача складаються з трьох складових: похибки керуючого генератора, параметрів пристроїв, що розподіляють еталонний сигнал, і характеристик генераторів приймача, які отримують сигнал через ці пристрої. Дослідження показує, що нестабільність частоти керуючого генератора має малозначний вплив на загальну стабільність мереж синхронізації. Характеристики синхронізації визначаються переважно комбінацією параметрів пристроїв розподілу і генератора приймача. У реальних мережах генератор приймача, підключений до керуючого генератора, працює з довгостроковою частотою, відмінною від частоти керуючого генератора. Нестабільність частоти генератора приймача зазвичай в 10 - 100 разів перевищує нестабільність частоти керуючого генератора, що робить генератори приймача основною причиною помилок синхронізації та зсувів у мережах.

Вплив первинного еталонного генератора на рівень зсувів, як правило, мінімальний. Цезієві генератори, GPS та LORAN-C зазвичай характеризуються довгостроковими похибками частоти від декількох одиниць на 10^{-13} до декількох одиниць на 10^{-12} [10]. Це призводить до рівнів зсувів, що варіюються від одного зсуву за п'ять років до трьох зсувів на рік. Це становить лише невелику частину допустимого значення в п'ять зсувів / день для прямого з'єднання і зазвичай не враховується.

Щоб визначити характеристики пристрою, який використовується для передачі еталонного сигналу синхронізації, існують дві основні причини: помилки та нестабільність синхронізації (джиттер та вандер). Загалом пристрій, що використовується для розподілу еталонного сигналу синхронізації, може

перериватися зазначеною кількістю помилок. Число випадків помилок може коливатися від 1 до 100 на день, залежно від різних факторів, таких як тип пристрою і відстань. Наприклад, стандарт TP встановлює значення серйозних відхилень (SES) на рівні 175 подій на день. SES означає секунду передачі, в якій має місце принаймні 320 помилкових подій CRS-6, що приблизно відповідає частоті бітових помилок 1×10^{-3} протягом секунди. Вимоги стандарту ANSI передбачають 40-50 SES на день, залежно від відстані [11].

Ці постійні ускладнення неодмінно впливають на розподіл еталонного сигналу синхронізації. Як вже зазначено, генератор приймача реагує на кожну помилку. Генератор може відхилитися на період до 1 мікросекунди відповідно до кожної помилки у своєму еталонному сигналі синхронізації. Накопичення помилок пристрою передачі, що викликає появу фазових помилок у генераторі приймача, суттєво впливає на рівень проскальзувань у мережі, що може призвести до десятків мікросекунд зсуву фази на день при поганому проектуванні мережі [12].

Нестабільність частоти еталонного сигналу залежить від технології, яку використовує обладнання для передачі еталонного сигналу. Якщо еталонний сигнал передається асинхронно (наприклад, при передачі DS3), то його джиттер зазвичай менше 600 нсекунд і має маленький вандер, що, зазвичай, не розглядається. Еталонні сигнали, передані через супутник, мають надмірний вандер через невеликі зміщення супутника відносно його геостаціонарного положення. Розмір вандеру зазвичай становить 1,8 мілісекунди на день, що робить супутникову передачу непридатною для використання як еталонний сигнал синхронізації. Еталонні сигнали синхронізації, передані як корисне навантаження через мережу SDH, можуть мати значний вандер. Сигнал DS1 або E1, розміщений і переданий через мережу SDH, може мати вандер довжиною в декілька десятків мікросекунд на день. Таким чином, синхронізація ніколи не передається як корисне навантаження через мережу SDH. У мережах, що

використовують передачу через мережу SDH, для цього використовується оптичний носій, що не піддається вирівнюванням вказівника та не зазнає джиттеру та вандеру [13].

Генератор приймача - це пристрій, що випускає сигнал синхронізації, який керується сигналом синхронізації від генератора-джерела, який має таку ж або вищу якість. Як показано вище, генератори приймача повинні реплікувати синхронізацію джерела еталонного сигналу, навіть якщо еталонний сигнал може бути помилковим, і протягом адекватного часу утримувати синхронізацію відсутності всіх еталонів синхронізації.

Характеристики генератора приймача виявляються під час його роботи у трьох режимах:

- Ідеальна робота.
- Робота в умовах стресу.
- Робота в режимі утримання.

Ідеальна робота описує короткочасну поведінку генератора, яка є важливою для управління вирівнюваннями покажчика в мережах SDH. Робота в умовах стресу - це типовий режим роботи генератора приймача, при якому очікується, що він отримує синхронізацію від генератора джерела через пристрій з короткочасними погіршеннями. Нарешті, робота в режимі утримання визначає характеристики генератора у випадку, коли всі еталонні сигнали, що подаються на генератор, втрачені.

При ідеальній роботі генератора приймача не відбувається перерв від вхідного еталонного сигналу синхронізації, навіть якщо це не є типовим для реальних мережевих операцій. Розуміння характеристик генератора в умовах ідеальної роботи вказує на межі його можливостей. Також важливо обмежити короткочасний шум генератора, який впливає на виникнення вирівнювань покажчика в мережах SDH і, як наслідок, джиттера та вандера корисного навантаження SDH.

При ідеальних умовах генератор приймача повинен працювати в строгій фазовій зв'язці з вхідним еталонним сигналом. Для коротких інтервалів спостережень, менших за постійний час петлі фазової автопідстройки (PLL), нестабільність частоти синхронізації визначається короткочасною нестабільністю місцевого генератора, а також впливом квантового шуму та PLL [14]. Відсутність перерв у еталонному сигналі призводить до того, що нестабільність вихідного сигналу синхронізації веде себе як фазова модуляція білого шуму. Високочастотний шум є обмеженим та некорельованим (білим) для великих періодів спостережень порівняно з часом спостереження PLL.

Генератор приймача переходить в режим утримання, коли втрачає всі еталонні сигнали синхронізації на значний час. Два основних чинника, що впливають на це, - початкове зміщення по частоті і дрейф частоти. Початкове зміщення виникає при встановленні частоти місцевого генератора та шумі еталонного сигналу синхронізації при першому входженні генератора в режим утримання. Дрейф частоти стає наслідком старіння кварцових генераторів. Вимоги ITU розглядають вплив цих факторів на характеристики утримання окремо, тоді як вимоги ANSI враховують комбіновані характеристики [15].

2.5 Основні параметри та принципи у плануванні синхронізації

Планування синхронізації визначає розподіл синхронізації у мережі та обирає генератори та обладнання для забезпечення синхронізації мережі. Це включає вибір та розташування керуючого генератора (або генераторів), розподіл функцій первинних та вторинних сигналів синхронізації та аналіз мережі для досягнення й збереження прийнятних рівнів характеристик.

Для забезпечення найкращих характеристик і стабільності мережі синхронізації необхідно дотримуватися деяких правил та процедур. Серед них найважливішими є уникнення замкнених петель синхронізації, підтримка

ієрархії, дотримання принципу BITS, використання найкращих методів транспортування еталонних сигналів синхронізації та мінімізація їх каскадування [16].

Петлі синхронізації виникають, коли генератор використовує власний еталонний сигнал для відстеження себе. Це призводить до нестабільності частоти еталонного сигналу, і генератори у петлі синхронізації працюють з помилкою діапазону генератора. Тому важливо, щоб потік еталонних сигналів синхронізації в мережі розроблявся так, щоб уникнути утворення петель синхронізації. Ніяка комбінація первинних чи вторинних еталонних сигналів не повинна призводити до петлі синхронізації. У добре спланованій мережі завжди можна уникнути петель синхронізації.

Підтримання ієрархії важливе для досягнення найкращих робочих характеристик у мережі. У ідеальних або стресових умовах передача синхронізації від кращих до гірших генераторів оптимізує робочі характеристики. Синхронізація все ще залишатиметься в межах норми, якщо вона передається від гіршого до кращого генератора. Хоча робочі характеристики можуть трохи постраждати, оскільки кращий генератор менш чутливий до короткочасних відмов мережі і буде накопичувати менше помилок часового інтервалу. Тільки у випадку, якщо генератор, розташований вище в мережі, перебуває в режимі утримання або вільному режимі, це порушує ієрархію та призводить до серйозних проблем. У цьому випадку генератор із гіршими характеристиками, розташований вище в мережі та перебуваючий в режимі утримання, може мати частотну похибку гірше, ніж може забезпечити генератор, розташований нижче в мережі. Генератор, розташований нижче в мережі, також не буде залишатися в робочому режимі та також перейде в режим утримання. Це призводить до появи численних генераторів, що працюють в режимі утримання, і до зайвих зсувів у мережі.

Більшість мережевих адміністраторів при розподілі синхронізації дотримуються принципу BITS (створення інтегрованого джерела синхронізації) або SSU (див. рис. 2.2). Застосування методу BITS або SSU передбачає, що найкращий генератор в офісі призначений для прийому еталонних сигналів з-за межі цього офісу. Всі інші генератори в офісі синхронізуються з цього генератора.

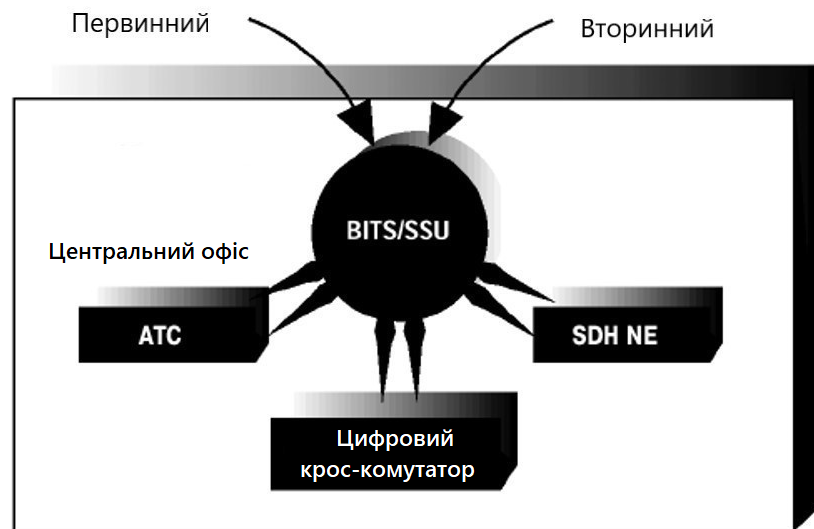


Рисунок 2.2 – Конфігурація BITS/SSU.

У багатьох випадках генератори сигналу синхронізації, такі як BITS або SSU, мають єдине завдання - забезпечити синхронізацію. Інші адміністрації віддають перевагу синхронізації від комутаційних систем або крос-комутаторів. Генератор BITS або SSU повинен бути найбільш надійним і працездатним в умовах стресу та утримання. Згідно з принципом BITS або SSU, робочі характеристики синхронізації офісу визначаються генератором BITS/SSU, оскільки лише він піддається стресу щодо свого еталонного сигналу синхронізації [16].

Для мінімізації кількості зсувів необхідно використовувати найкраще обладнання для передачі еталонного сигналу синхронізації. Це обладнання має генерувати еталонний сигнал з мінімальною кількістю збоїв, включаючи

мінімальну кількість SES і відсутність зайвого джиттеру і вандеру. Еталонні сигнали, що використовуються для навантаження на SDH, не повинні бути використані для синхронізації через обробку вказівника, що додає додатковий джиттер і вандер. Так само еталонні сигнали, які передаються за допомогою послуг АТМ, мають значний вандер і також не повинні використовуватися для синхронізації.

Каскадування еталонних сигналів синхронізації по мережі має бути зведене до мінімуму, оскільки кожен пристрій у ланцюгу може призводити до погіршення характеристик синхронізації. Чим коротший ланцюг синхронізації, тим краще його характеристики.

2.5.1 Планування синхронізації у мережі SDH

Одним з ключових кроків у плануванні мережі синхронізації є вирішення питання розподілу тактових сигналів та вибір джерел синхроімпульсів і обладнання для тактування мережі. Спосіб розподілу сигналів та вибір джерел можуть варіюватися для мереж, що базуються на SDH. У даному розділі розглядається планування синхронізації для мереж SDH.

ITU визначає методику підключення джерела опорного сигналу до мережі синхронізації (рис. 2.3) як ключове завдання у розподілі сигналів синхронізації. В ланцюгу не повинно бути більше 10 транзитних або місцевих вузлових точок. Ці вузлові точки належать до 10 офісів, що використовують джерело синхроімпульсів транзитного або місцевого рівня як джерело-розмножувач синхроімпульсів (SSU). Між офісами існують ланцюги джерел синхроімпульсів у формі елементів SDH. Жоден ланцюг не повинен містити більше 20 синхронізованих джерел. Загальна кількість джерел у повному ланцюзі підключення опорного сигналу не повинна перевищувати 60. Кожне джерело синхроімпульсів у ланцюзі отримує сигнал синхронізації від оптичної лінії [13].

Підключення опорного джерела було розроблене на основі ідеальних умов і моделювання, з метою відповідати вимогам забезпечення джиттера на рівні 5 UI для транспортування DS3, DS1 і E1. Експериментальні вимірювання для перевірки результатів моделювання не проводилися. Важливо зауважити, що дрейф, викликаний транспортуванням DS1 і E1, був незначним у такому сценарії підключення опорного джерела. Потреба у зменшенні дрейфу шляхом обмеження допустимої величини часових похибок у напруженому режимі може призвести до необхідності змін у підключенні опорного джерела, як це обговорювалося у попередньому розділі. Крім того, для підвищення надійності може бути корисним скорочення довжини ланцюга.

Розглянемо вимоги до синхронізації мережевого елемента SDH.

Джерело синхросигналу мережевого елемента має менші характеристики, ніж відповідне місцеве джерело за стандартом ITU. Воно повинно відповідати вимогам щодо утримання частоти на рівні $5 \cdot 10^{-8}$ для початкового зміщення та $5 \cdot 10^{-7}$ за добу для дрейфу частоти. Вимоги до відновлення синхронізації: максимальна зміна фази не більше $5 \cdot 10^{-8}$ при середньоквадратичному відхиленні MTIE менше 1,0 мікросекунди для найбільшого періоду відновлення синхронізації [13].

Основна різниця між джерелами синхросигналу мережевих елементів SDH та SSU полягає в їх смузі пропускання. У мережевого елемента SDH вона складає від 1 до 10 Гц, що обумовлено двома чинниками. По-перше, смужка пропускання повинна бути принаймні в 10 разів ширше, ніж у SSU, для мінімізації дрейфу в ідеальних умовах роботи. По-друге, джерело синхросигналу мережевого елемента має забезпечувати швидке відновлення синхронізації.

У випадку, коли мережеві елементи SDH сконфігуровані у кільце, а канал передачі сигналу синхронізації переривається, розподіл синхронізації в кільці переконфігурується. Ця переконфігурація повного кільця з 20 мережевих

елементів має займати близько 15 секунд. Кожен мережевий елемент повинен завершити переконфігурацію своєї синхронізації та перейти на режим стабільного вихідного сигналу протягом приблизно однієї секунди. Ця умова вимагає достатньо швидкої реакції мережевого елемента SDH і обмежує смугу фільтрації.

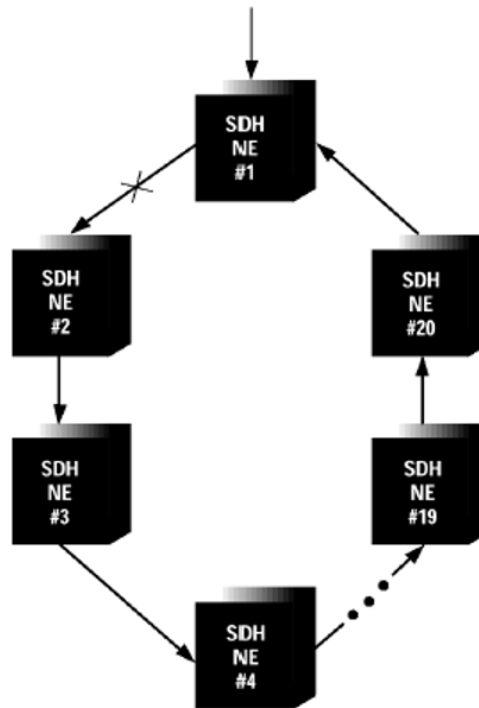


Рисунок 2.3 – Кільцева конфігурація SDH з нормальним потоком сигналу синхронізації, який рухається проти годинникової стрілки

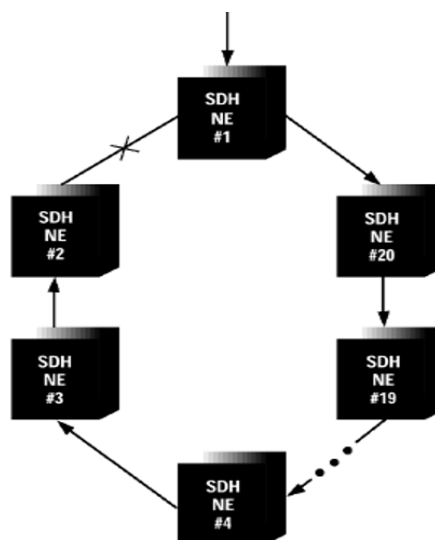


Рисунок 2.4 – SDH у кільцевій конфігурації з перериванням тракту передачі сигналу синхронізації, потік проти годинникової стрілки

2.6 Виявлення помилок у системі SDH

Для виявлення помилок у системі передачі SDH використовується метод контролю парності BIP-N (Bit Interleaved Parity). Схема обчислення контрольного слова подана на рисунку 2.5.

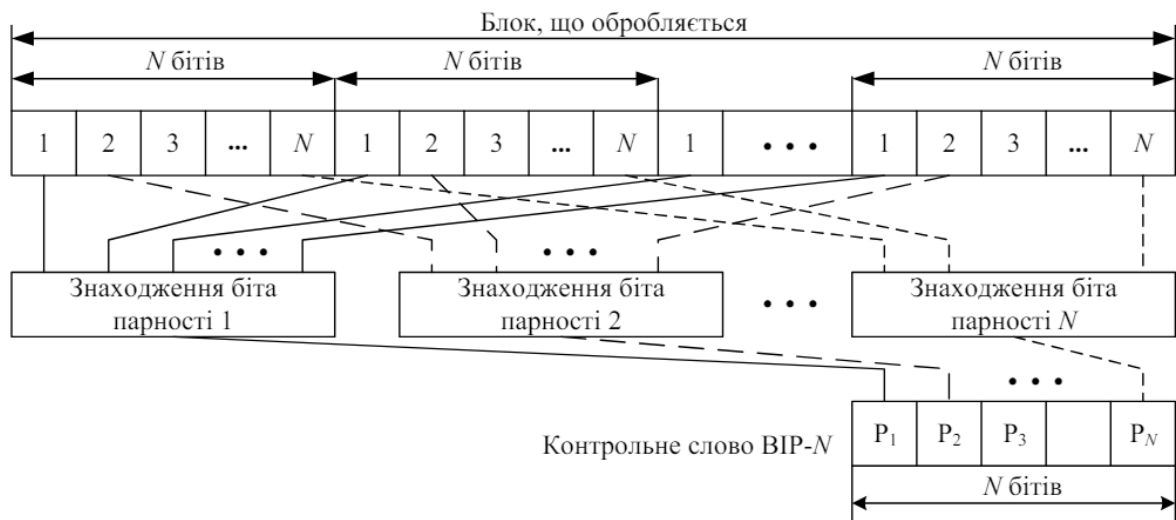


Рисунок 2.5 – Схема обчислення контрольного слова BIP-N

Контроль парності виконується для конкретного блока даних у межах груп даних з розмірами 2, 8 або 24 біти (BIP-2, BIP-8 і BIP-24 відповідно). Послідовність бітів (наприклад, STM-N, VC) розділяється на блоки по N бітів. Усі перші біти кожного блоку сумуються за модулем 2. Отриманий результат записується у перший біт контрольного слова BIP-N. Такий же обчислювальний процес застосовується до інших бітів до n -го [14].

Результат підрахунку передається як контрольне слово на приймальний бік. На приймальному боці проводяться аналогічні обчислення, а потім порівнюються два контрольних слова. Результат порівняння пересилається у зворотному напрямку.

Оскільки технологія SDH передбачає використання секційних і трактових заголовків, процедура контролю парності надає можливість тестування параметрів цифрової системи передачі від секції до секції і від початку до кінця тракту передачі. Для цього використовуються спеціальні байти в складі заголовків SOH і POH (як було описано раніше). Наприклад, кількість помилок, виявлених за допомогою контрольного слова, переданого по каналу В3, записується в байті G1 трактового заголовка POH VC-4 наступного синхронного транспортного модуля. Схема посекційного моніторингу якості передачі представлена на рис. 2.6. Байти, використані для контролю парності, та пов'язані з ними сегменти цифрової системи передачі, наведені в таблиці 2.1.

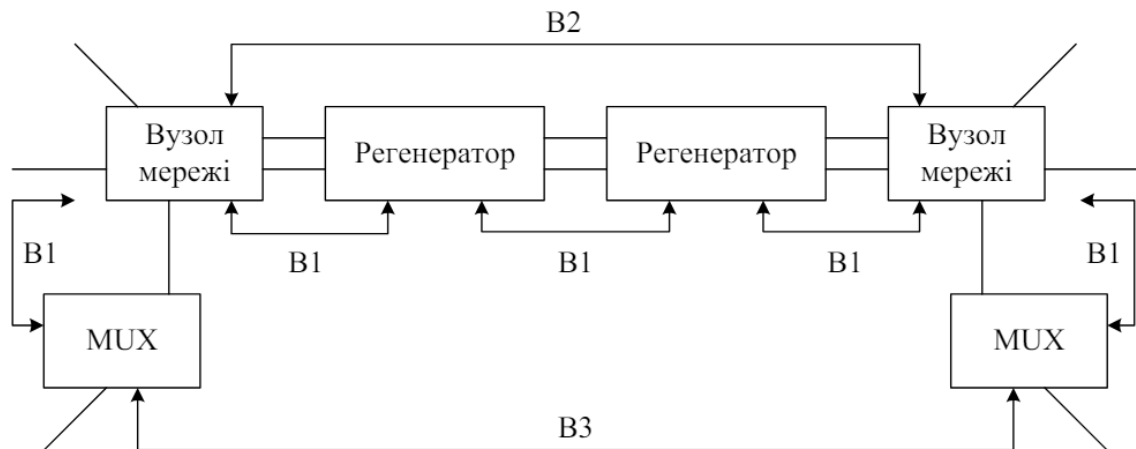


Рисунок 2.6 – Посекційний моніторинг якості передачі

Таблиця 2.1 – Байти, що використовуються для контролю парності та відповідні сегменти мережі SDH

Байт	Заголовок	Довжина	Секція моніторингу
B1	RSOH	BIP-8	STM-1
B2	MSOH	BIP-24	STM-1 без RSOH
B3	POH VC-3/4	BIP-8	VC-3/4
V5	POH VC-1/2	BIP-2	VC-1/2

2.7 Висновки до розділу

У цьому розділі було проведено огляд мережевої синхронізації, де висвітлено вплив характеристик синхронізації на надання послуг з передачі цифрових даних, передачі закодованих повідомлень та на розвиток нових технологій, таких як SDH. Головним чинником, що впливає на характеристики синхронізації в реальній мережевій діяльності, є частотний зсув, що виявляється генератором приймача відносно джерела первинного еталонного сигналу, до якого він призначений. Управління цим погіршенням характеристик може бути здійснене за допомогою введення кількох первинних еталонних генераторів, використання стійких генераторів та правильного планування синхронізації.

3 МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ПРОХОДЖЕННЯ ОПТИЧНОГО СИГНАЛУ У ВОЛЗ МЕРЕЖ SDN

3.1 Оптимізація математичної моделі оптичного сигналу з урахуванням дисперсії та втрат

Для одного спектрального каналу в оптичному волокні з певною довжиною хвилі λ_i , загальний умовний вигляд сигналу, враховуючи часові та хвильові характеристики [15, 16], а також зазначені фактори, представляється наступним чином:

$$S(t, \lambda_i) = A[a_j \cdot A_m(t - j\Delta T)] + N_{IP}(t, \lambda_i), \quad (3.1)$$

Першу проміжну формулу математичної моделі сигналу можна отримати шляхом застосування формули для одиничного сигналу (3.1) з урахуванням розгортання факторів впливу та їх механізмів за допомогою методу евристичного синтезу та логічних тверджень про фізичний зміст процесів у волоконно-оптичному зв'язку (враховуючи теорію волоконно-оптичних ліній зв'язку):

$$S_{in}(t, \lambda_i) = A[a_j \cdot A_m \sin(\omega t_i - j\Delta T)] = A[a_j \cdot A_m \sin(2\pi \nu t_i - j\Delta T)]; \quad (3.2)$$

$$S_{out}(t, \lambda_i) = D(\lambda_i) \cdot S_{in}(t, \lambda_i) = A[a_j \cdot a_{kT} \cdot D(\lambda_i) \cdot a_d \cdot A_m \sin(\omega t_i - j\{\Delta T + \tau + \Delta t_{zi}\})] + N_{IMP}(t, \lambda_i), \quad (3.3)$$

де λ_i – представляє довжину хвилі;

a_j – це коефіцієнт логічного сигналу, який дорівнює 0 при передачі логічного «0» та 1 при передачі логічної «1»;

A_m – амплітуда оптичного сигналу, що передається;

ω – циклічна частота;

ν – частота сигналу;

t_i – часова змінна;

j – комплексна змінна;

ΔT – часовий параметр періоду імпульсу;

$D(\lambda)$ – спектральний коефіцієнт загасання, що враховує залежність загасання для кожної з довжин хвиль;

a_d – коефіцієнт загасання, який враховує повні оптичні втрати, (у числових розрахунках $a_d = D$);

a_{KT} – коефіцієнт, який враховує вплив температури і визначається таблично для різних ОВ (може бути врахований, як поправка компенсації до коефіцієнта оптичних втрат a_d , тоді a_{KT} приймається рівним 1);

τ – повна дисперсія оптоволоконна;

Δt_{zi} – додатковий часовий зсув інформаційного імпульсу, обумовлений розбіжностями між спектральними складовими та можливими нелінійними впливами в певних умовах;

$N_{IMP}(t, \lambda)$ – рівень джерела адитивної завади в момент часу передавання t , що представляє собою вузькосмугові квазігармонійні коливання шумів із випадковими параметрами.

Аналогічно залежності сигналів у формулах 3.2 та 3.3, залежність завад $N_{IMP}(t, \lambda_i)$ у [16] також переписується з урахуванням дисперсійних характеристик і оптичних втрат:

$$N(\lambda, i_n, t) = \frac{D(\lambda_i) \cdot a_d}{\sigma_n(t+) \sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left[-\frac{i_n^2}{2\sigma_n^2(t)}\right], \quad (3.4)$$

де i_n і $\sigma_n(t)$ – миттєві та середньоквадратичні значення загального струму завади в момент часу t , на вході порогового пристрою ПРОМ.

Тоді, враховуючи формули для сигналів (3.2 та 3.3) та шуму (3.4), повна залежність для сигналу буде наступною:

$$S_{out}(t, \lambda_i) = D(\lambda_i) \cdot S_{in}(t, \lambda_i) = A \left[a_j \cdot D(\lambda_i) \cdot a_d \cdot a_{kT} \cdot A_m \sin(\omega t_i - j\{\Delta T + \tau + \Delta t_{zi}\}) \right] + \\ + \frac{D(\lambda_i) \cdot a_d}{\sigma_n(t+) \sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left[-\frac{i_n^2}{2\sigma_n^2(t)}\right]. \quad (3.5)$$

Очевидно, що при реалізації 2-х хвильової передачі інформації узагальнений сигнал $S(t, \lambda_1, \lambda_2)$, який представлений на двох довжинах хвиль λ_1 та λ_2 у [17], буде складатися з логічної суперпозиції амплітуд різних довжин хвиль $A_m \lambda_1$ та $A_m \lambda_2$ таким чином, щоб забезпечувати стабільність передачі імпульсів та уникати ситуацій пропаданя сигналу "лог 1". Логічна суперпозиція сигналів амплітуд може бути представлена за допомогою однієї з основних логічних операцій - функцій (булевих функцій). При аналізі таблиці 1 стає очевидним, що найбільшу стабільність при втраті одного (будь-якого сигналу або біта) на довжинах хвиль λ_1 та λ_2 демонструє операція логічного "АБО" - OR. У всіх комбінаціях крім першої, коли всі логічні біти рівні 0, на виході присутній сигнал "лог 1". Тому саме логічне "АБО" є найбільш придатним у використанні в математичній моделі сигналу двох хвильової передачі інформації, оскільки воно гарантує найвищу стабільність передавання цифрової інформації.

Вихідний сигнал амплітуди при реалізації двох хвильової цифрової передачі даних складається з суперпозиції амплітуд кожного з сигналів на довжинах хвиль λ_1 та λ_2 і буде представлений у наступному вигляді:

$$A_m = [D(\lambda_1) \cdot A_{m\lambda 1}] \cup [D(\lambda_2) \cdot A_{m\lambda 2}] \quad (3.6)$$

Таблиця істинності для такої логічної суперпозиції амплітуд визначається за результатом операції логічного "АБО". У будь-яких комбінаціях, крім випадку, коли обидва сигнали на вході рівні нулю, на виході завжди буде "лог.1", що підвищує загальну стійкість до втрат такого сигналу. Таким чином, за останнім, третім фактором впливу — фактором амплітуди, кінцеву математичну модель двох хвильової передачі сигналів у ВОЛЗ можна записати з урахуванням (3.5) та (3.6):

$$S_{out}(t, \lambda_i) = A(a_j \cdot a_d \cdot a_{kT} \cdot [D(\lambda_1) \cdot A_{m\lambda 1}] \cup [D(\lambda_2) \cdot A_{m\lambda 2}] \cdot \sin(\omega t_i - j\{\Delta T + \tau + \Delta t_{zi}\})) + \\ + \frac{D(\lambda_i) \cdot a_d}{\sigma_n(t) \sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left[-\frac{i_n^2}{2\sigma_n^2(t)}\right]. \quad (3.7)$$

Формула 3.7 дозволяє створювати та описувати параметри універсального оптичного сигналу на двох довжинах хвиль, який враховує всі фактори впливу у процесі поширення в оптичному волокні з метою підвищення стійкості та тривалості траєкторії розповсюдження оптичного імпульсу через волоконно-оптичне середовище. На практиці застосування цього методу дозволяє отримати імпульс, тривалість якого трохи більша, ніж тривалість кожного з окремих імпульсів на одній довжині хвилі. Однак, незважаючи на це, переваги, що впливають зі збільшення стійкості, розширення траєкторії та зменшення рівня завад, переважають недоліки, які пов'язані із збільшенням кількості обладнання.

У певних умовах, зокрема, коли сумарна потужність універсального імпульсу для кожного з сигналів на довжинах хвиль λ_1 та λ_2 перевищує порогові значення для нелінійних явищ у волокні (тобто $P_{sum \lambda_1 \lambda_2} \gg P_{N.L.}$), можуть виникати нелінійні дисперсії, що спричиняють розширення імпульсів через збільшення параметра Δt_{zi} . Тому важливо контролювати оптичну потужність (сумарну для λ_1 та λ_2) в допустимих межах лінійності оптичного волокна: $P_{N.L.} \succ P_{sum \lambda_1 \lambda_2} \succ 0$. Це завжди є компромісом між максимальною допустимою дальністю передачі інформації та її якістю. Наприклад, для одномодових волокон типу ЕІА з неналежним розсіянням в значеннях оптичної потужності зазвичай встановлюються на рівні від 1 до 10 мВт для лінійного діапазону на дистанціях до 70 км.

Загальний вигляд універсального імпульсу, сформованого відповідно до залежності сигналу, представлений на рисунку 3.1.

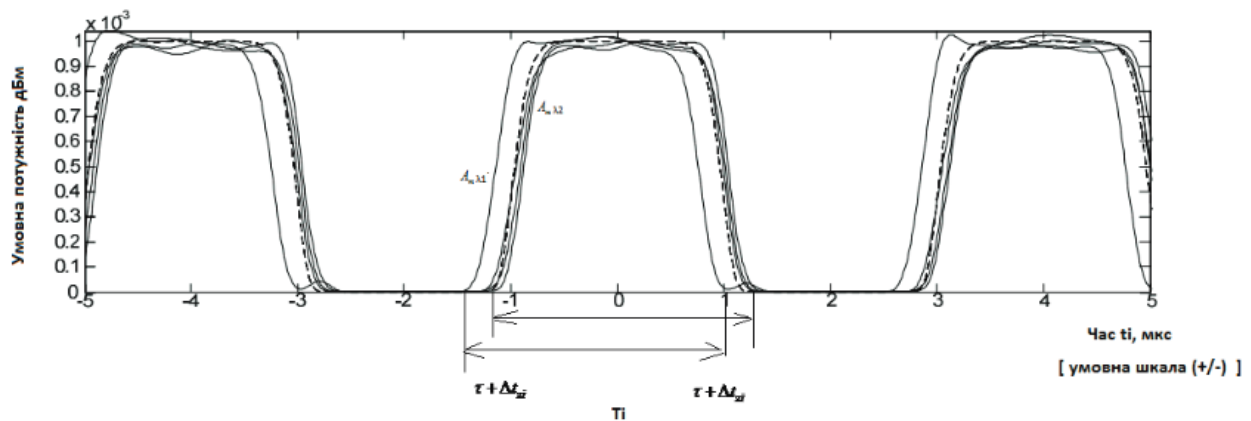


Рисунок 3.1 – Форма імпульсів і зсув, що виникає через дисперсію та інші чинники під час двоххвильової передачі інформації

Беручи до уваги особливості передачі імпульсів на двох різних довжинах хвиль, основний вплив на часові характеристики зсуву становлять модова

поляризаційна компонента τ_{pmd} та хроматична складова дисперсії τ_{chr} , особливо у випадку використання одномодового волокна типу NZDSF. У разі застосування багатомодового оптоволокна до цих факторів долучається ще й вплив модової компоненти τ_{mod} . Це можна побачити на рисунку 3.2.

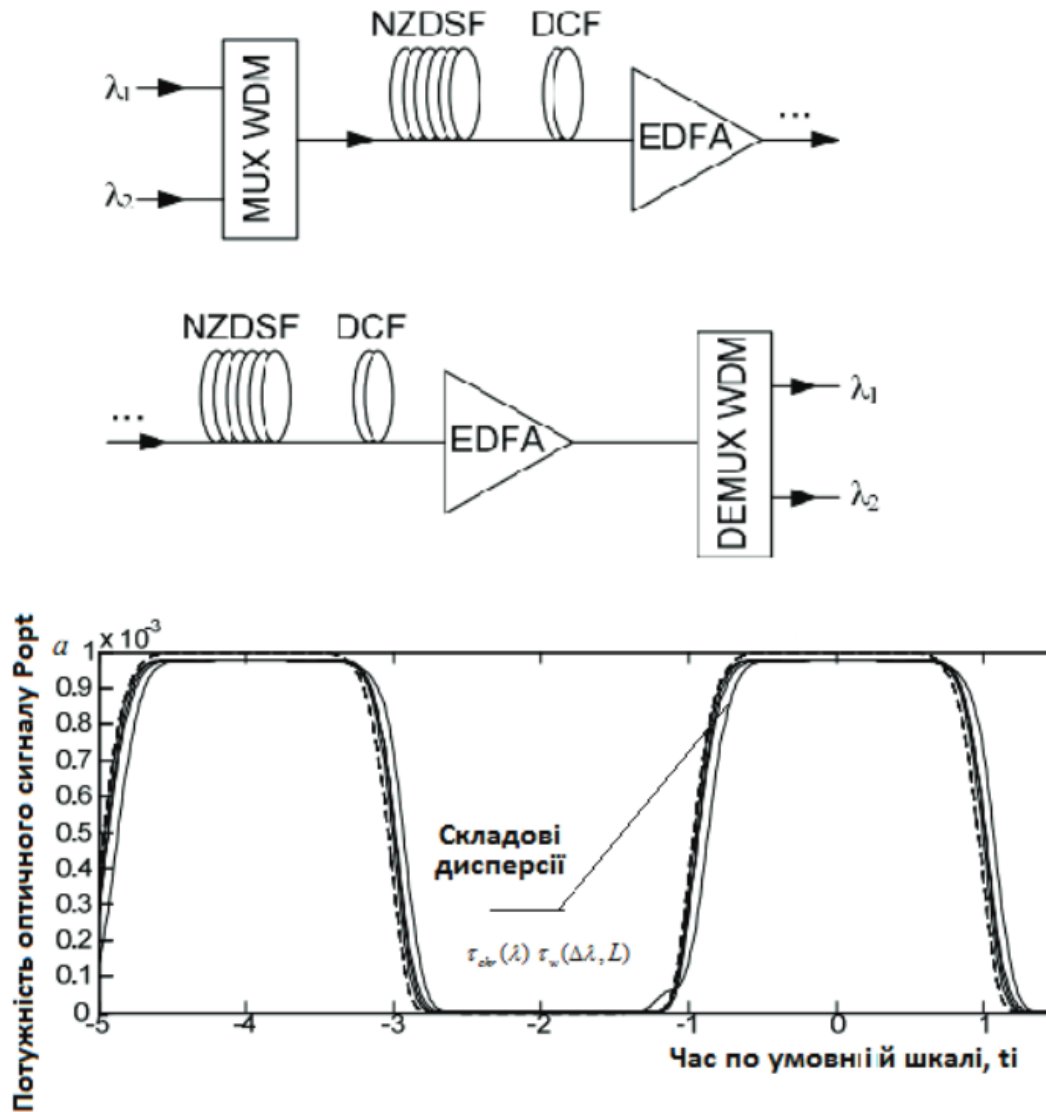


Рисунок 3.2 – Прояв складових модової поляризаційної τ_{pmd} і хроматичної τ_{chr} дисперсії у ВОЛЗ на базі одномодового оптоволокна NZDSF

Практично, рівень цих компонент також впливає на рівень адитивної завади $N(\lambda, p_{n\lambda j}, t)$ (вузькосмугові квазігармонійні коливання шумів) у той самий момент часу передавання t_i оптичного імпульсу, що представлений нормальним розподілом ймовірності.

3.2 Моделювання оптичного сигналу за методом двох-хвильового кодування інформації

Для вирішення завдання моделювання оптичного сигналу за методом 2-х хвильового кодування за формулою 3.7 в середовищі Python було розроблено програмний модуль, призначений для формування і аналізу 2-х хвильового сигналу.

Цей модуль включає у себе формування сигналу у волокні-оптиці на базі одномодового оптоволокна типу SMF 9/125 NZDSF та створення математичної моделі цього сигналу [18].

Для процесу моделювання були обрані такі параметри оптичного імпульсу:

- одномодове волокно – SMF 8/125 NZDSF;
- хроматична дисперсія $t_z = 0,15$ пс·нм/км;
- параметри сигналу: коефіцієнт амплітуди = 0,2;
- довжини хвиль $\lambda_1 = 1350$ та $\lambda_2 = 1550$ нм;
- довжина волокна $L = 1$ км;
- тип форми сигналу – трапецеїдальна;
- коефіцієнт форми = 0,4;
- оптична потужність сигналів однакова – 10 мВт;
- втрати: 0,25 Дб/км (для 1550 нм), 0,4 Дб/км (для 1350 нм) [19].

Враховуючи те, що оптичне волокно оптимізоване для роботи під довжини хвиль 1550 нм та 1350 нм, були вибрані відповідні значення хроматичної дисперсії: 0,5 пс та 0,11 пс для волокна типу SMF 9/125 NZDSF [18].

Також, для спрощення візуального сприйняття основної ідеї двох хвильової передачі інформації, значення потужності для різних довжин хвиль були обрані однаковими, $P_{\lambda 1} = P_{\lambda 2} = 10$ мВт, з метою роботи оптичного волокна в лінійному режимі.

Опускаючи деталі реалізації програми, відзначимо три основні пункти побудови математичної моделі. Першим пунктом програмного модуля є оголошення змінних та їх обчислення (рис. 3.3).

```
n=1000

T1=655*10**-4 #0.1ps
T2=775*10**-4

Pin=10**-2
P1out=Pin*np.exp(-0.4)
P2out=Pin*np.exp(-0.25)

t=np.linspace(0, 1, n)#0.1ps
t1=np.linspace(0, 5, n)#0.5ps

T1=np.linspace(T1,0.11,n)
T2=np.linspace(T2,0.5,n)

P1=np.linspace(Pin,P1out,n)
P2=np.linspace(Pin,P2out,n)
```

Рисунок 3.3 – Блок оголошення змінних

Наступним пунктом математичної моделі є створення моделі цифрового сигналу, а саме – трапецеїдальних імпульсів на основі оголошених даних у першому пункті (рис. 3.4).

```

sign = lambda i: (((i-1) % 4)//2 - 0.5) * -2

function1 = lambda i,t: np.sin((2*i-1)*t*2*np.pi/(T1))/((2*i-1)**2) * sign(i)
f1=8*np.sqrt(2)/np.pi**2*sum(function1(i,t) for i in range(1,100)) +1

function2 = lambda i,t1: np.sin((2*i-1)*t1*np.pi/(T2))/((2*i-1)**2) * sign(i)
f2=8*np.sqrt(2)/np.pi**2*sum(function2(i,t1) for i in range(1,100)) +1

```

Рисунок 3.4 – Блок створення трапецеїдальних імпульсів

На рис 3.5 можемо спостерігати крайній пункт виведення отриманих результатів:

```

fig,(ax1, ax2) = plt.subplots(2, sharex=True, sharey=True)

ax1.plot(t, A1*f1, color='r')
ax1.set_title('wavelength 1350 [nm]')
ax1.set_xlabel('t, 0.1 [ps]')
ax1.set_ylabel('P, [mW]')
ax1.grid(True)

ax2.plot(t1, A2*f2,color='b')
ax2.set_title('wavelength 1550 [nm]')
ax2.set_xlabel('t, 0.5 [ps]')
ax2.set_ylabel('P, [mW]')
ax2.grid(True)

fig.tight_layout()
plt.ylim(-0.02,0.025)
plt.xlim(0,1)
plt.show()

```

Рисунок 3.5 – Блок виведення результатів

Отримані висновки є результатом апроксимації поширення сигналу на відстані 1 км з вікном часу в 0,1 пс і 0,5 пс (рис. 3.6).

Як видно з діаграми (рис. 3.6, знизу), розповсюдження сигналу на довжині хвилі 1550 нм характеризується більшою хроматичною дисперсією та меншим загасанням, що сприяє підтримці сигналу. Навпаки (рис. 3.6, зверху), на довжині хвилі 1350 нм хроматична дисперсія менша, що відповідає збереженню

часових параметрів сигналу і його тривалості, але, водночас, спостерігається більше загасання [20]. Для побудови результуючого сигналу в оптичному волокні ми спростимо модель до звичайних прямокутних імпульсів, розглянувши вихідний сигнал, який подолав відстань 1 км.

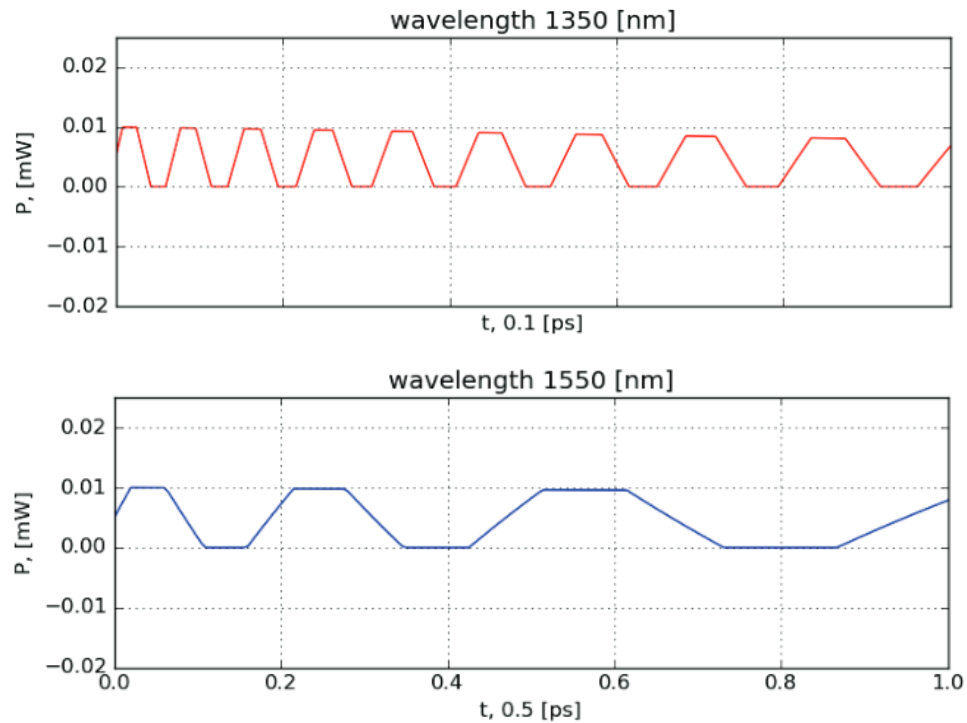


Рисунок 3.6 – Результати побудови математичної моделі для передачі інформації на двох хвилях, апроксимовані на відстані 1 км з часовим інтервалом 1 пс

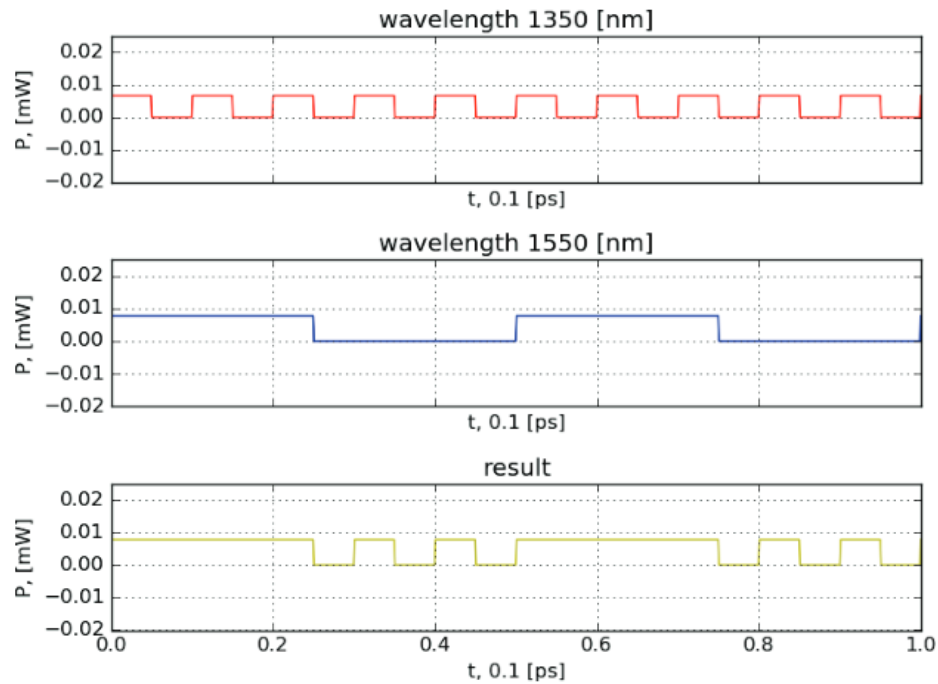


Рис. 3.7 – Результируючий сигнал

З графіків можна чітко побачити, як сигнали на різних довжинах хвиль взаємно компенсують дисперсійні втрати часових параметрів та амплітудних значень один одного. Це робить двох-хвильову передачу інформації менш чутливою до сторонніх шумів та більш стійкою до можливих втрат інформації взагалі.

3.3 Висновки до розділу

Проведено аналіз проблем існуючої математичної моделі методу двох-хвильового передавання оптичних сигналів в оптичному волокні, що дозволило розробити вдосконалений метод і модель передавання оптичного сигналу на двох довжинах хвиль. Модифікована модель і метод відрізняються від відомої тим, що вони враховують ключові параметри волоконно-оптичного середовища - оптичні втрати і дисперсію сигналу, що дозволяє максимально компенсувати їх і сформувати такий сигнал, що може пройти максимальну відстань при

мінімальних часових спотвореннях в залежності від кожного конкретного волокна, підбираючи довжину хвилі. На основі вдосконаленого методу і математичної моделі були отримані дані моделювання в розробленому програмному модулі на мові програмування Python і отримані ключові параметри оптичного сигналу в швидкісному (магістральному) одномодовому оптоволокну типу SMF 9/125 NZDSF. Проведене комп'ютерне моделювання сигналів на базі розробленого програмного середовища дозволило отримати графіки сигналу на відстані 1 км. Отримані результати показали відносно високу ефективність вдосконаленого методу двох-хвильової передачі інформації при передачі сигналу через оптичні волокна та відносно високу стійкість сигналу. Наведені ключові показники оцінки ефективності процесу передачі інформації в оптичних волокнах за допомогою інноваційного методу.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

Забезпечення безпеки праці є важливим аспектом управління будь-яким підприємством, оскільки це безпосередньо впливає на здоров'я та безпеку працівників, а також на ефективність виробничого процесу. Для досягнення цієї мети необхідно дотримуватися законодавчих вимог, стандартів та нормативів, які спрямовані на збереження здоров'я працівників.

Під час оцінки алгоритмів синхронізації в високошвидкісних мережах SDN для ефективного управління трафіком та ресурсами на дослідника, згідно , мали вплив такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори:

1. Фізичні:

- підвищена запиленість та загазованість повітря робочої зони;
- підвищений рівень шуму на робочому місці;
- підвищений рівень електромагнітного випромінювання;

- підвищена чи понижена іонізація повітря;
- недостатня освітленість робочої зони;
- підвищена яскравість світла; понижена контрастність;
- пряма і відбита блискість.

2. Психофізіологічні: статичне перевантаження та розумове перевантаження.

Відповідно до визначених шкідливих та небезпечних факторів формуємо рекомендації щодо охорони праці під час виконання роботи [22].

4.1. Технічні рішення щодо безпечного виконання роботи

4.1.1. Обладнання приміщення та робочого місця

Ефективність праці персоналу прямо пропорційно залежить від раціональності організації робочих місць. Під робочим місцем розуміють зону, оснащену необхідними технічними засобами, у якій відбувається трудова діяльність виконавця або групи виконавців, що спільно виконують ту чи іншу операцію чи роботу.

Схема приміщення у якому відбувається оцінка алгоритмів синхронізації в високошвидкісних мережах SDN для ефективного управління трафіком та ресурсами зображена на рис.4.1.

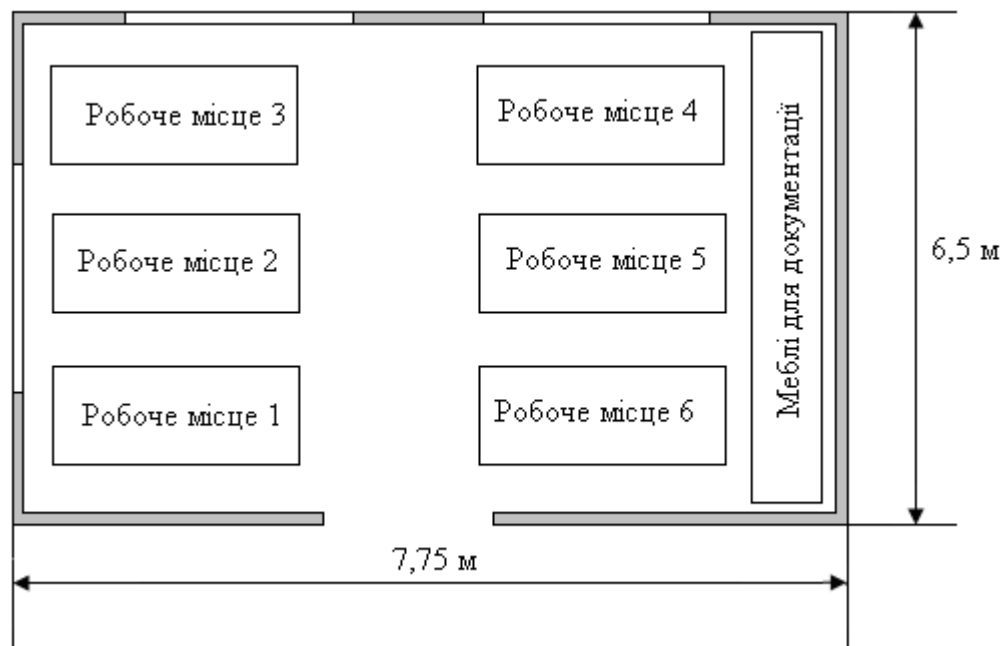


Рисунок 4.1 – Схема приміщення, де відбувається оцінка алгоритмів синхронізації в високошвидкісних мережах SDN для ефективного управління трафіком та ресурсами

Відповідно до схеми, приміщення має розміри 6,5м7,75м, висота приміщення – 3,2 м. в приміщення знаходяться 6 робочих місць обладнаних ПК,

шафа. Приміщення кутове і має 3 вікна шириною 1,5 м кожне. Висота вікна становить 1,8 м.

Загальна площа приміщення становить $50,4 \text{ м}^2$ та об'єм $161,2 \text{ м}^3$. Кількість працівників у приміщенні – 6 осіб. На одного працівника в даному приміщенні припадає в середньому $8,4 \text{ м}^2$ робочої площі. Об'єм повітря на одного працівника припадає $26,9 \text{ м}^3$.

Згідно із НПАОП 0.00-1.28-18 [23] площу приміщень, в яких розташовують відеотермінали, визначають згідно з чинними нормативними документами з розрахунку на одне робоче місце, обладнане відеотерміналом: площа - не менше $6,0 \text{ кв. м}$, обсяг – не менше $20,0 \text{ куб. м}$, з урахуванням максимальної кількості осіб, які одночасно працюють у зміні [24]. Порівнявши нормативні дані з отриманими, маємо, що реальні площі приміщення відповідають нормативним і є оптимальними при роботі на ПК.

Організацією робочого місця називається система заходів щодо оснащення робочого місця засобами і предметами праці та їх розміщення в певній послідовності в просторі. Конструкція робочого місця і взаємне розташування всіх його елементів повинне відповідати гігієнічним, антропометричним, фізіологічним і психологічним вимогам. Проектування робочих місць також передбачає врахування динаміки рухів людини в процесі трудової діяльності, оскільки раціональна їх організація є фактором зниження втоми працівників, а, отже, підвищення продуктивності роботи, збереження досить високого рівня працездатності

Робочий стілець працівника забезпечений підйомно-поворотним механізмом. Висота сидіння повинна регулюється в межах $400 - 500 \text{ мм}$. Глибина сидіння складає не менше 380 мм , а ширина - не менше 400 мм . Висота спинки стільця має не менше 300 мм , ширина - не менше 380 мм . Кут нахилу спинки стільця до площини сидіння змінюється в межах $90 - 110$.

Щодня перед початком роботи необхідно очищати екран ВДТ від пилу та інших забруднень. Після закінчення роботи ПК повинні бути відключені від електричної мережі.

Не допускається:

- виконувати обслуговування, ремонт та налагодження ЕОМ безпосередньо на робочому місці;
- зберігати біля ПК папір, носії інформації, запасні блоки, деталі тощо, якщо вони не використовуються для поточної роботи;
- відключати захисні пристрої, самочинно проводити зміни у конструкції та складі ПК або їх технічне налагодження;
- працювати з ПК, у яких під час роботи з'являються нехарактерні сигнали, нестабільне зображення на екрані тощо;

У разі виникнення аварійної ситуації необхідно негайно відключити ПК від електричної мережі.

Дане приміщення по небезпеці ураження електричним струмом відноситься до категорії без підвищеної небезпеки [26].

Для забезпечення безпеки здійснюються такі технічні рішення:

- Забезпечено недоступність струмопровідних частин (застосована схована проводка, кабель прокладений у спеціальних ринвах).
- забезпечено ізолювання струмопровідних частин з використанням ізоляції, опір якої не нижче 1кОм/В, передбачені постійний контроль і профілактика ізоляції.
- напруга освітлювальної мережі приймається 220 В із заземленою нейтраллю.

4.1.2. Профілактика професійних захворювань користувача ПК

На функціональний стан дослідника під час використання ПК та на його здоров'я впливає комплекс об'єктивних і суб'єктивних чинників, зокрема, зміст і обсяг інформації, інтенсивність і тривалість роботи за ПК, складність завдання, якість і досконалість використовуваних програмних продуктів, їхні ергономічні, педагогічні, психогігієнічні властивості та рівень «дружності» інтерфейсу. Окрім того, об'єктивними, гігієнічно значимими також вважають чинники внутрішнього середовища приміщення, які виникають під час роботи комп'ютерних комплексів – показники мікроклімату, освітленість, яскравість, контрастність і колір зображення на екрані дисплея, іонізуюче та неіонізуюче опромінення, шум тощо [27].

Наслідками регулярної роботи з комп'ютером без застосування захисних засобів можуть бути: захворювання органів зору (60% користувачів); хвороби серцево-судинної системи (20%); захворювання шлунково-кишкового тракту (10%); шкірні захворювання (5%); різноманітні пухлини.

Характерною рисою роботи за ПК є статичний режим: великий обсяг праці треба виконувати в сидячому положенні. При цьому більшість груп м'язів постійно напружені, що призводить до швидкої стомлюваності, сприяє розвитку фахових патологічних вигинів хребта: грудному гіперкифозу, сплюсненню шийного лордозу і формуванню сколіозів. Неправильне розташування дисплеїв по висоті - занадто низьке або високе, під неправильним кутом - є головною причиною появи сутулості. Занадто високе розташування дисплея призводить до тривалої напруги шийного відділу хребта, що, зрештою, може призвести до розвитку остеохондрозу. Ненормальний стан хребта може стати причиною захворювання всього організму [27].

Важливою є форма спинки крісла, яка повинна повторювати форму спини. Висота крісла повинна бути такою, щоб користувач не почував тиску на куприк

або стегна. Крісло бажано обладнати бильцями. Його потрібно встановити так, щоб не треба було тягтися до клавіатури. Періодично користувачу необхідно рухатися, вчасно змінювати положення тіла і робити перерви у роботі.

Якщо у приміщенні експлуатується більше одного комп'ютера, то треба врахувати, що на користувача одного комп'ютера можуть впливати випромінювання від інших, в першу чергу бокових, а також і задньої стінки сусіднього дисплея. Тому необхіден захист спеціальними фільтрами і щоб користувач розміщався від бічних і задніх стінок інших дисплеїв на відстані не ближче одного метра.

При тривалій та інтенсивній роботі за комп'ютером з'являється синдром комп'ютерного стресу (СКС), який проявляється головною білью, запаленням очей, алергією, дратівливістю, млявістю і депресією, погіршенням зосередженості і працездатності.

Причинами різноманітних симптомів СКС є 5 основних чинників: неправильна робота очей і поза тіла, носіння невідповідних окулярів або контактних лінз, неправильна організація робочого місця, розподілення фізичних, розумових, візуальних навантажень, низький рівень візуальної підготовленості для роботи з комп'ютером [8].

4.2. Технічні рішення з виробничої санітарії

4.2.1. Мікроклімат

Стан повітря робочої зони у виробничому приміщенні називають мікрокліматом або метеорологічними умовами. Мікроклімат або метеорологічні умови виробничих приміщенні, визначаються за такими параметрами:

- температурою повітря у приміщенні, С;
- відносною вологістю повітря, %;

- рухливістю повітря, м/с;
- тепловим випромінюванням, Вт/м³.

Всі ці параметри поодино, а також у комплексі впливають на фізіологічну функцію організму його терморегуляцію і визначають самопочуття

Згідно з Гігієнічною класифікацією праці роботу оцінки алгоритмів синхронізації в високошвидкісних мережах SDH для ефективного управління трафіком та ресурсами можна віднести до категорії Ia [30]. Допустимі параметри мікроклімату для цієї категорії робіт згідно ДСН 3.3.6.042-99 [31] наведені в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Параметри мікроклімату

Період року	Допустимі		
	t, °C	W, %	V, м/с
Теплий	22-28	55	0,1-0,2
Холодний	21-25	75	0,1

Для створення і підтримки в приміщенні допустимих значень мікроклімату в холодну пору року використовується загальне водяне опалення, в теплу пору року застосовується кондиціонування повітря. Кондиціонер являє собою вентиляційну установку, яка за допомогою приладів автоматичного регулювання підтримує в приміщенні задані параметри повітряного середовища.

4.2.2. Склад повітря робочої зони

В приміщенні, де здійснюється оцінка алгоритмів синхронізації в високошвидкісних мережах SDH для ефективного управління трафіком та ресурсами, можливими шкідливими речовинами у повітрі є формальдегід,

оксида азоту та вуглецю і озон. Джерелами цих речовин є офісна техніка. Пил нетоксичний потрапляє в приміщення ззовні. ГДК шкідливих речовин, які знаходяться в досліджуваному приміщенні, наведені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – ГДК шкідливих речовин у повітрі

Назва речовини	ГДК, мг/м ³		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньо добова	
Формальдегід	0,035	0,03	2
Оксид азоту	0,085	0,085	2
Оксид вуглецю	3	1	4
Озон	0,16	0,01	1
Пил нетоксичний	0,5	0,15	4

Забезпечення складу повітря робочої зони здійснюється за допомогою системи кондиціювання та систематичного вологого прибирання.

4.2.3. Виробниче освітлення

Виробниче освітлення залежно від джерела світла може бути: природнім, штучним та суміщеним.

Природне освітлення обумовлено прямими сонячними променями та розсіяним світлом небосхилу, змінюється залежно від географічної широти, ступеню хмарності, часу діб від сотен частин люкс вночі до десятків тисяч люкс вдень.

Штучне освітлення створюється штучними джерелами світла: лампами розжарювання або газорозрядними лампами.

Суміщене освітлення уявляє собою доповнення природнього освітлення штучним в світлий час діб при недостатньому за нормами природнім освітленням.

Норми освітленості при штучному освітленні та КПО (для III пояса світлового клімату) [24] при природному та сумісному освітленні для оцінки алгоритмів синхронізації в високошвидкісних мережах SDN для ефективного управління трафіком та ресурсами дослідника зазначені у таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 - Норми освітленості в приміщенні

Характеристика зорової роботи	Найменший розмір об'єкта розрізнення	Розряд зорової роботи	Підрозряд зорової роботи	Контраст об'єкта розрізнення з фоном	Характеристика фона	Освітленість, лк		КПО, e_n , %			
						Штучне освітлення		Природне освітлення		Сумісне освітлення	
						Комбіноване	Загальне	Верхнє або верхнє і бокове	Бокове	Верхнє або верхнє і бокове	Бокове
Дуже високої точності	Від 0,15 до 0,3	II	г	великий	світлий	1000	300	7	2,5	4,2	1,5

Джерелами штучного освітлення у приміщенні є 4 світильники, в яких знаходяться по 3 люмінесцентних лампи в кожному потужністю 40 Вт. Система освітлення – загальна.

Для забезпечення достатнього освітлення передбачені такі заходи:

- 1) Максимальне використання бічного природного освітлення.
- 2) Систематичне очищення скла від бруду – не рідше двох разів на рік.

3) Систематична заміна перегорілих світильників.

4.2.4. Виробничий шум

Приміщення, де здійснювалася оцінка алгоритмів синхронізації в високошвидкісних мережах SDH для ефективного управління трафіком та ресурсами має низький рівень загального шуму, однак джерелами шумових перешкод можуть стати вентиляційні установки, кондиціонери або периферійне устаткування для ЕОМ (принтери та ін.) Тривала дія цих шумів негативно позначаються на емоційному стані персоналу.

Рівні звуку та еквівалентні рівні звуку на підприємстві становлять 60-65 дБа, що відповідає допустимому рівню звукового тиску та звуку згідно з ДСН 3.3.6.037-99 [31]. Рівень звукового тиску в дБ в октавних смугах з середньо геометричними частотами становить приблизно 50-60 Гц, що також відповідає нормі [32].

З метою зниження шуму можна запропонувати наступне:

- облицювання стелі та стін звукопоглинальним матеріалом (знижує шум на 6 - 8 дБ);
- установка в комп'ютерних приміщеннях обладнання, що виробляє мінімальний шум;
- раціональна планування приміщення.

4.2.5. Виробничі випромінювання

Ступінь впливу електромагнітних випромінювань на організм людини взагалі залежить від діапазону частот, тривалості опромінення, характеру опромінення, режиму опромінення, розмірів поверхні тіла, яке опромінюється, та індивідуальних особливостей організму.

ПК є джерелами таких випромінювань як: м'якого рентгенівського; ультрафіолетового 200 - 400 нм; видимого 400 - 700 нм, ближнього інфрачервоного 700 - 1050 нм; радіочастотного 3 кГц - 30 МГц; електростатичних полів.

Гранично допустимі значення характеристик ЕМП під час роботи на ПК наведені в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 - Гранично допустимі значення характеристик ЕМП

Найменування параметрів	Допустиме Значення
Напруженість електромагнітного поля по електричній складовій на відстані 50 см від поверхні відеомонітора	10 В / м
Напруженість електромагнітного поля по магнітній складовій на відстані 50 см від поверхні відеомонітора	0,3 А / м
Напруженість електростатичного поля не повинна перевищувати для дорослих користувачів	20 кВ / м
Напруженість електромагнітного поля на відстані 50 см навколо ВДТ по електричній складовій повинна бути не більше:	
в діапазоні частот 5 Гц - 2 кГц;	25 В / м
в діапазоні частот 2 - 400 кГц	2,5 В / м
Щільність магнітного потоку повинна бути не більше:	
в діапазоні частот 5 Гц - 2 кГц;	250нТл
в діапазоні частот 2 - 400 кГц	25 нТл
Поверхневий електростатичний потенціал не повинен перевищувати	500 В

Для забезпечення захисту оператора та досягнення нормованих рівнів випромінювань ПК рекомендовано застосування екранних фільтрів, локальних світлофільтрів (засоби індивідуального захисту очей) та інших засобів захисту, які пройшли випробування в акредитованих лабораторіях та отримали позитивний висновок державної санітарно-епідеміологічної експертизи.

4.3 Пожежна безпека

Будь-яке перепланування, технологічне переоснащення, зміна функціонального призначення приміщень дозволене лише за наявності проектної документації, яка пройшла попередню експертизу на відповідність нормативним актам з питань пожежної безпеки та отримала позитивні результати в органах державного пожежного нагляду.

Меблі та устаткування мають розміщатися так, щоб забезпечити вільний евакуаційний прохід до виходу з приміщення (не менше 1 м). Евакуаційні шляхи та виходи слід завжди утримувати вільними, нічим не захаращеними. У разі накопичення горючих відходів (використаного паперу, картону тощо) їх слід прибирати у спеціально відведені сміттєзбірники. Електромережі, електроприлади та апаратура повинні експлуатуватися тільки у справному стані з урахуванням вказівок і рекомендацій заводів-виробників. У разі пошкоджень електромереж, вимикачів, розеток та інших електроприладів слід негайно вимкнути їх і вжити необхідних заходів щодо приведення до пожежобезпечного стану. Документи, папір та інші горючі матеріали слід зберігати на відстані, не менше 1 м від електрощитів, електрокабелів, дротів (0.5 м – від світильників, 0.25 м – від приладів опалення) [23].

Шляхи евакуації, що не мають природного освітлення, за наявності в приміщенні людей, повинні постійно освітлюватись електричним світлом. Електрощити мають бути оснащені схемами підключення споживачів з

пояснювальними написами і вказаним значенням номінального струму апарата захисту (плавкої вставки). Встановлення на горючі основи (конструкції) електророзеток, вимикачів, перемикачів та інших подібних пристроїв допускається тільки з підкладанням під них суцільного негорючого матеріалу, що виступає за їхні габарити не менш ніж на 10 см. Засоби протипожежного захисту слід утримувати у справному стані.

Всі працівники зобов'язані вміти користуватися наявними вогнегасниками, іншими первинними засобами пожежогасіння та внутрішніми пожежними кранами, знати місця їхнього розташування. Відстань від найвіддаленішого місця приміщення до найближчого вогнегасника не повинна перевищувати 20 м. Пожежні сповіщувачі повинні функціонувати цілодобово і постійно утримуватися в чистоті. До них потрібно забезпечити вільний доступ.

Відстань від складованих матеріалів і устаткування до сповіщувачів повинна бути не менша ніж 0,6 м. У приміщеннях, які після закінчення роботи замикаються і не контролюються черговим персоналом, з усіх електроустановок та електроприладів, а також з мереж їх живлення повинна бути відключена напруга (за винятком чергового освітлення, протипожежних та охоронних установок, а також електроустановок, що за вимогами технології працюють цілодобово).

4.4 Висновки до розділу

В результаті виконання цього розділу було опрацьовано такі питання охорони праці, як технічні рішення стосовно: гігієни праці та виробничої санітарії, мікроклімат приміщень, виробниче освітлення, виробничий шум та випромінювання. Також розглянуто пожежна безпека у виробничих приміщеннях та технічні рішення системи запобігання пожежі та систем протипожежного захисту.

ВИСНОВКИ

У першому розділі було розглянуто основні особливості функціонування мереж за технологією SDH. Однією з ключових особливостей технології SDH є її базування на синхронній передачі даних, що дозволяє ефективно координувати роботу мережі за допомогою згодованих тактових сигналів.

Було розглянуто різні види синхронізації в цифрових телекомунікаційних системах, що дозволяє забезпечити стабільну роботу мережі у різних умовах.

Топологія та архітектура транспортних мереж SDH також були вивчені, виявивши, що SDH має гнучку ієрархічну структуру, що дозволяє ефективно організовувати передачу даних на різних рівнях і масштабах.

У другому розділі було проведено огляд мережевої синхронізації, де висвітлено вплив характеристик синхронізації на надання послуг з передачі цифрових даних, передачі закодованих повідомлень та на розвиток нових технологій, таких як SDH.

Було проведено аналіз проблем існуючої математичної моделі методу двох-хвильового передавання оптичних сигналів в оптичному волокні, що дозволило розробити вдосконалений метод і модель передавання оптичного сигналу на двох довжинах хвиль. Модифікована модель і метод відрізняються від відомої тим, що вони враховують ключові параметри волоконно-оптичного середовища - оптичні втрати і дисперсію сигналу, що дозволяє максимально компенсувати їх і сформувати такий сигнал, що може пройти максимальну відстань при мінімальних часових спотвореннях в залежності від кожного конкретного волокна, підбираючи довжину хвилі.

У третьому розділі було проведено комп'ютерне моделювання сигналів на базі розробленого програмного середовища дозволило отримати графіки

сигналу на відстані 1 км. Отримані результати показали відносно високу ефективність вдосконаленого методу двох-хвильової передачі інформації при передачі сигналу через оптичні волокна та відносно високу стійкість сигналу.

У роботі було проведено оцінку ефективності алгоритмів синхронізації в високошвидкісних мережах SDH з метою оптимального управління трафіком та ресурсами. Результати дослідження свідчать про значне покращення якості синхронізації у мережах SDH за допомогою впровадження відповідних алгоритмів. Виявлені в роботі висновки та рекомендації можуть бути корисними для розробників та адміністраторів мереж, сприяючи покращенню їхньої ефективності та надійності.

Отже, дослідження відкриває шлях до подальших досліджень у цій області та розробки нових методів синхронізації, спрямованих на оптимізацію функціонування високошвидкісних мереж SDH. Дослідження стимулює подальший прогрес у цій області, пропонуючи нові підходи та розробки для підвищення надійності та продуктивності мереж. В цілому, робота внесе вагому інформаційну базу для майбутніх досліджень і розробок у сфері високошвидкісних мереж SDH.

У роботі також наведено було опрацьовано такі питання охорони праці, як технічні рішення стосовно: гігієни праці та виробничої санітарії, мікроклімат приміщень, виробниче освітлення, виробничий шум та випромінювання. Також розглянуто пожежна безпека у виробничих приміщеннях та технічні рішення системи запобігання пожежі та систем протипожежного захисту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. B. Chowdhury and M. B. I. Reaz, "Next generation PON for future broadband access network: A brief overview on research opportunities and challenges," **Journal of Network and Computer Applications**, vol. 49, pp. 75-86, 2015.
2. М. Ю. Ільченко and С. О. Кравчук, Телекомунікаційні системи, НАН України, Нац. техн. ун-т України «Київ. політехн. ін-т ім. Ігоря Сікорського», НДІ телекомунікацій, Київ: Наук. думка, 2017, 734 с.
3. Є. П. Гороховський, Ю. М. Зіненко, Л. П. Крючкова, І. І. Борисенко, "Багатокритеріальна оптимізація систем управління телекомунікаційними мережами," *Телекомунікаційні та інформаційні технології*, no. 4, pp. 5-11, 2016. [Online]. Available: http://nbuv.gov.ua/UJRN/vduikt_2016_4_3.
4. В. В. Безкоровайний and В. М. Русскін, "Багатокритеріальна оптимізація топологічних структур корпоративних комп'ютерних мереж," presented at the 9th International Scientific and Technical Conference "Information Systems and Technologies", 2017.
5. С. О. Довгий, П. П. Воробієнко, К. Д. Гуляєв, Сучасні телекомунікації: Мережі, технології, безпека, економіка, управління, Київ: Азимут-Україна, 2013, 608 с.
6. Г. Г. Бортник, М. В. Васильківський, В. М. Кичак, Методи та засоби первинного цифрового оброблення радіосигналів, Вінниця: ВНТУ, 2016, 168 с. ISBN 978-966-641-678-3.
7. Дж. Каур and Х. Сінгх, "Порівняльний аналіз технологій GPON та EPON для майбутньої мережі," presented at the 2020 IEEE International

Conference on Computing, Power and Communication Technologies (GUCON), 2020, pp. 1-6. IEEE.

8. M. Ilyas and H. T. Mouftah, Eds., Design and Implementation of Optical Networks: Architectures, Technologies, and Protocols, 1st ed. CRC Press, 2003.

9. В. Л. Войнаровський, "Теоретичні основи проектування SDH-мереж," Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут», серія "Радіотехніка. Радіоапаратобудування", вип. 42, с. 112-120, 2014.

10. С. В. Ільченко, "Аналіз надійності SDH-мереж," Науковий вісник Чернівецького національного університету. Серія: Комп'ютерні науки та інформаційні технології, вип. 5, с. 65-71, 2015.

11. О. М. Петров, "Оптичні транспортні мережі на основі SDH: принципи побудови і перспективи розвитку," Телекомунікаційні та інформаційні технології, вип. 1, с. 43-50, 2012.

12. S. S. Wilson and M. T. Chen, "Integration of SDH and WDM Technologies," IEEE J. Sel. Areas Commun., vol. 18, no. 10, pp. 2014-2024, Oct. 2000. doi: 10.1109/49.881731.

13. Ю. С. Тарасенко, "Методи підвищення ефективності SDH-мереж, Вісник Національного технічного університету "ХПІ", серія: Нові рішення в сучасних технологіях, вип. 28, с. 85-92, 2013.

14. K. Kazi, Optical Networking Standards: A Comprehensive Guide for Professionals, 1st ed. New York, NY, USA: IEEE Press, 2017.

15. І. В. Дерев'янко, "Моделювання і аналіз параметрів оптичних транспортних мереж SDH," Вісник Вінницького політехнічного інституту, вип. 6, с. 72-78, 2015.

16. М. М. Савчук, "Інноваційні технології в оптичних мережах зв'язку," Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК, вип. 8, с. 102-108, 2016.
17. А. В. Ковальчук, "Оптичні мережі нового покоління," Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту, вип. 42, с. 53-59, 2017.
18. H. van Helvoort, *SDH/SONET Explained in Functional Models*, 1st ed. New York, NY, USA: IEEE Press, 2004.
19. О. П. Гончарук, "Особливості проектування мереж SDH з урахуванням сучасних вимог," Вісник Одеської національної академії зв'язку ім. О. С. Попова, вип. 4, с. 79-85, 2014.
20. Л. В. Коваль, "Оптимізація транспортних мереж на базі технологій SDH," Наукові праці Донецького національного технічного університету, вип.7, с. 62-68, 2015.
21. Н. М. Литвиненко, "Підходи до побудови високошвидкісних оптичних мереж," Електроніка та системи управління, вип. 3, с. 98-104, 2016.
22. Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу [Електронний ресурс]. – Режим доступу : URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0472-14>.
23. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення. – [Електронний ресурс] – Режим доступу : http://online.budstandart.com/ua/catalog/docpage.html?id_doc=79885.
24. Про мінімальні вимоги безпеки при роботі з дисплейним обладнанням – [Електронний ресурс] : 90/270/ЕЭС.Брюссель: Рада

Європейських співтовариств, 1990. – URL: <http://docs.pravo.ru/document/view/32704903/>.

25. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-nor4878.html>.

26. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972>.

27. Закон України «Про охорону праці» від 14.10.1992 № 2694-XII- [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/2694-12>.

28. НПАОП 0.00-7.15-18 Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://sop.zpr.ua/norm_praop_0_00-7_15-18_01_ua.php.

29. Правила улаштування електроустановок - [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.energiy.com.ua/PUE.html>.

30. ДНАОПБ 0.00-1.32-01 Правила будови електроустановок та електрообладнання. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://aer.net.ua/public/files/OSBB/zakonodavctvo/INSCE/DNAOP%200.00-1.32-01.pdf>.

31. НАПБА.01.001-14. Правила пожежної безпеки в Україні. – К. : МВС України, 2014. – 47 с.

32. Наказ Міністерства внутрішніх справ України «Про затвердження Правил експлуатації та типових норм належності вогнегасників» – [Електронний ресурс] – Режим доступу : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0225-18#Text>.

Додаток А
(обов'язковий)

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА
ОЦІНКА АЛГОРИТМІВ СИНХРОНІЗАЦІЇ В ВИСОКОШВИДКІСНИХ
МЕРЕЖАХ SDN ДЛЯ ЕФЕКТИВНОГО УПРАВЛІННЯ
ТРАФІКОМ ТА РЕСУРСАМИ
(назва бакалаврської дипломної роботи)

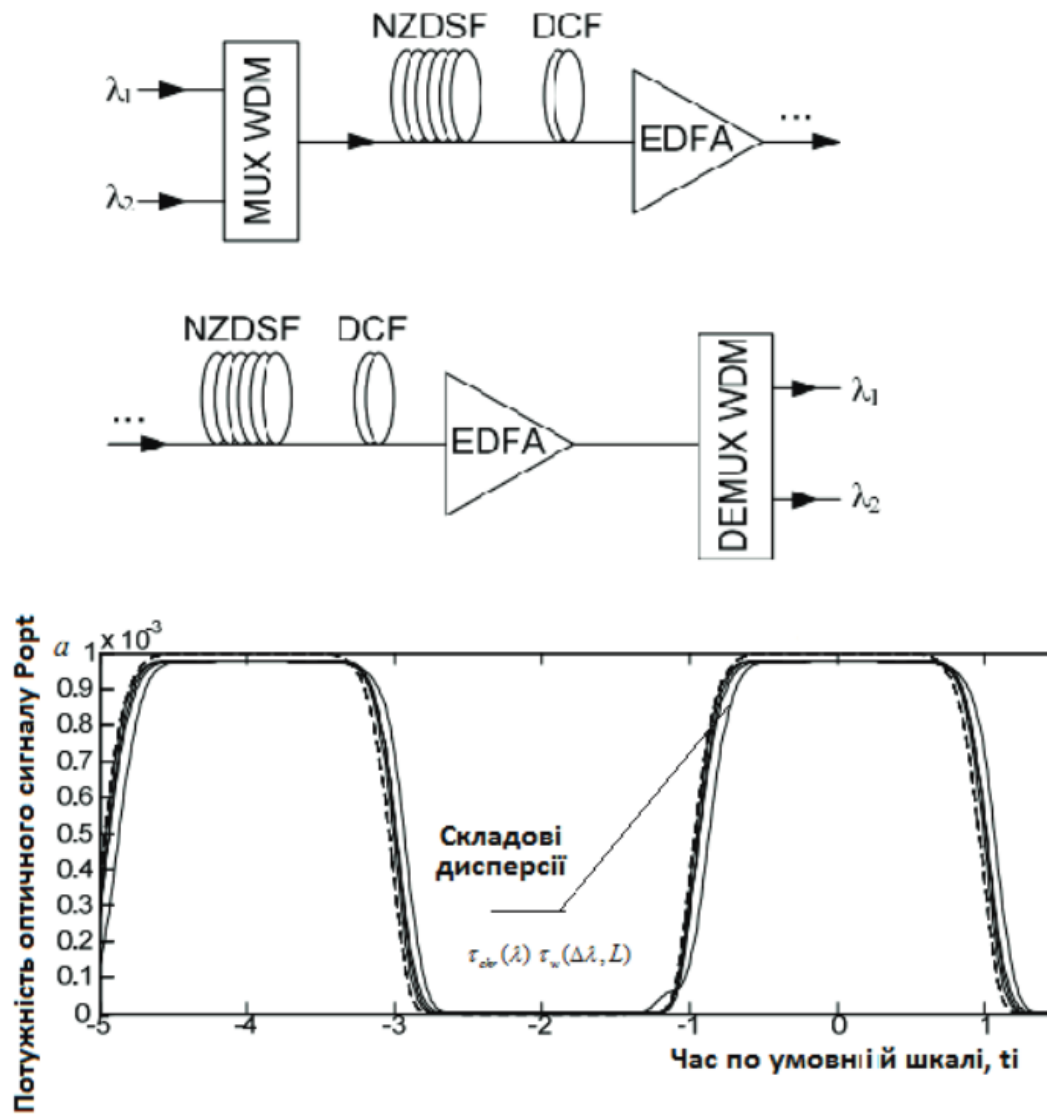


Рисунок А.1 – Складові модової поляризаційної і хроматичної дисперсії у ВОЛЗ на базі одномодового оптичного волокна NZDSF

```

n=1000

T1=655*10**-4 #0.1ps
T2=775*10**-4

Pin=10**-2
P1out=Pin*np.exp(-0.4)
P2out=Pin*np.exp(-0.25)

t=np.linspace(0, 1, n)#0.1ps
t1=np.linspace(0, 5, n)#0.5ps

T1=np.linspace(T1,0.11,n)
T2=np.linspace(T2,0.5,n)

P1=np.linspace(Pin,P1out,n)
P2=np.linspace(Pin,P2out,n)

```

Рисунок А.2 – Програмний код блоку оголошення змінних

```

fig,(ax1, ax2) = plt.subplots(2, sharex=True, sharey=True)

ax1.plot(t, A1*f1, color='r')
ax1.set_title('wavelength 1350 [nm]')
ax1.set_xlabel('t, 0.1 [ps]')
ax1.set_ylabel('P, [mW]')
ax1.grid(True)

ax2.plot(t1, A2*f2,color='b')
ax2.set_title('wavelength 1550 [nm]')
ax2.set_xlabel('t, 0.5 [ps]')
ax2.set_ylabel('P, [mW]')
ax2.grid(True)

fig.tight_layout()
plt.ylim(-0.02,0.025)
plt.xlim(0,1)
plt.show()

```

Рисунок А.3 – Програмний код блоку виведення результатів

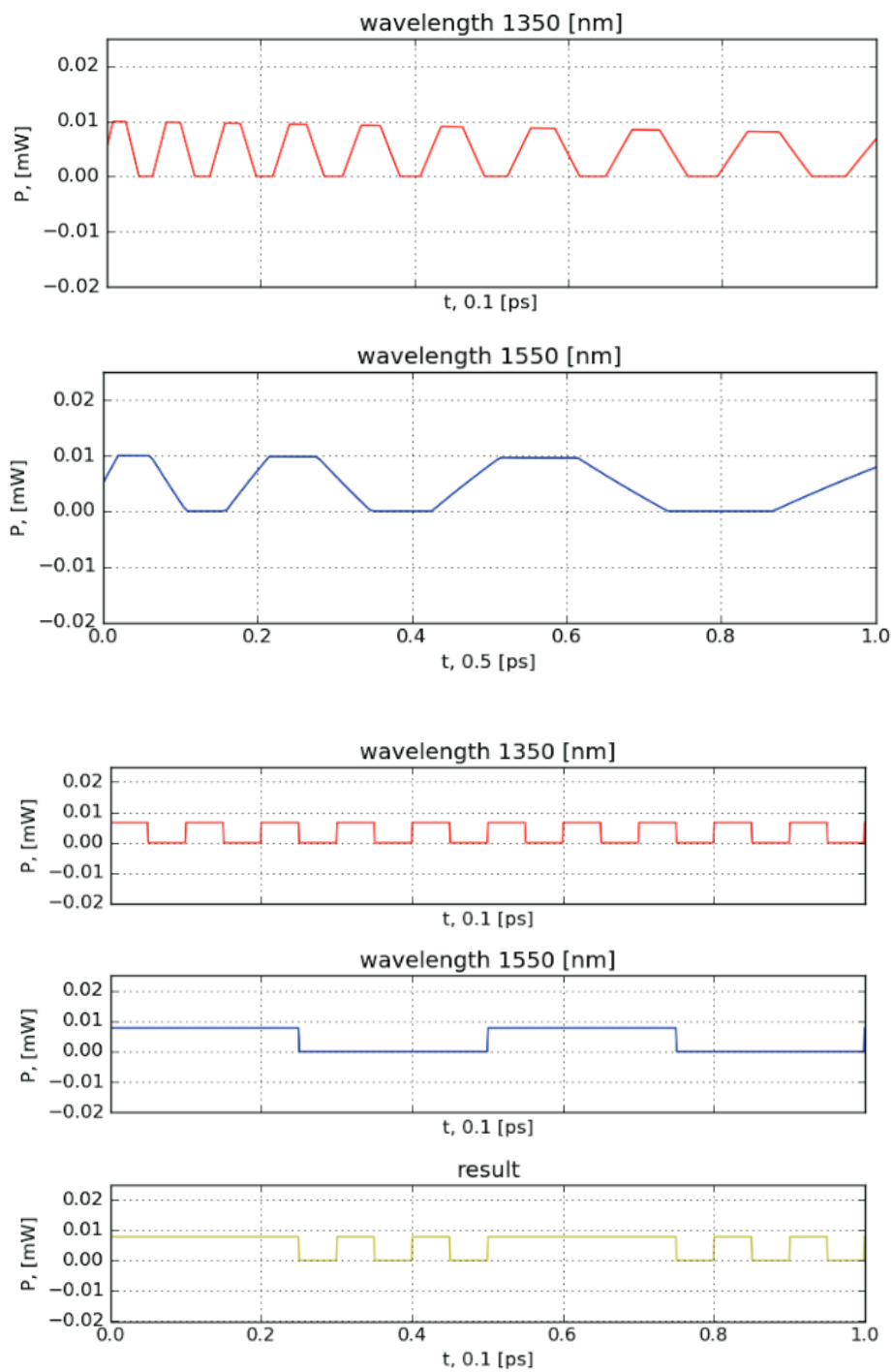


Рисунок А.4 – Результати комп'ютерного моделювання математичної моделі для передачі інформації на двох хвилях, апроксимовані на відстані 1 км з часовим інтервалом 1 пс

Додаток Б
(обов'язковий)

Протокол
перевірки кваліфікаційної роботи
на наявність текстових запозичень

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: Оцінка алгоритмів синхронізації в високошвидкісних мережах SDN для ефективного управління трафіком та ресурсами

Тип роботи: Бакалаврська дипломна робота
(БДР, МКР)

Підрозділ кафедра Інфокомунікаційних систем і технологій, факультет Інформаційних електронних систем
(кафедра, факультет)

Показники звіту подібності Unichesk

Оригінальність 86,2 % Схожість 13,8 %

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне):

☒ 1. Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.

☐ 2. Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її виконання автором. Роботу направити на розгляд експертної комісії кафедри.

☐ 3. Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Особа відповідальна за перевірку

Васильківський М.В.
(прізвище, ініціали)

Ознайомлені з повним звітом, який був згенерований системою Unichesk щодо роботи.

Автор роботи

Березюк О. Ф.
(прізвище, ініціали)

Керівник роботи

Барась С.Т.
(прізвище, ініціали)