

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
МІЖНАРОДНИЙ ГУМАНІТАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Кафедра комп'ютерної інженерії та інноваційних технологій

Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Навчальна дисципліна:

ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ СИСТЕМИ ТА МЕРЕЖІ

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1

Принципи побудови телекомунікаційних систем та мереж

Доцент кафедри Комп'ютерної інженерії та інноваційних технологій,
кандидат технічних наук

Педяш Володимир Віталійович

2025 рік

Зміст

Вступ.....	3
Лекція 1. Телекомунікаційні мережі	5
Лекція 2. Інформація, повідомлення та сигнал	9
Лекція 3. Багатоканальні системи передачі.....	13
Лекція 4. Загальні принципи побудови ЦСП із почасовим розділенням канальних сигналів.....	17
Лекція 5. Методи часового мультиплексування сигналів	21
Лекція 6. Трибутарні потоки ЦСП СЦІ. Формування інформаційних структур у ЦСП СЦІ	24
Список рекомендованої літератури.....	29

ВСТУП

Навчальна дисципліна «Телекомунікаційні системи та мережі» є однією з профільних дисциплін підготовки фахівців за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка» і спрямована на формування у студентів системних знань про принципи побудови, функціонування та розвитку сучасних телекомунікаційних систем і мереж різного призначення.

Стрімкий розвиток інфраструктури зв'язку в Україні та світі, впровадження мереж п'ятого покоління 5G, масштабування хмарних обчислень і Інтернету речей висувають принципово нові вимоги до рівня теоретичної підготовки та практичних навичок майбутніх інженерів-телекомунікаційників. Фахівець галузі зобов'язаний вільно орієнтуватися в архітектурі мереж передавання даних, методах мультиплексування та принципах побудови цифрових систем передавання, що є базисом для засвоєння спеціальних дисциплін наступних курсів.

Лекція 1. Телекомунікаційні мережі

1.1. Поняття телекомунікаційної мережі

Телекомунікаційна мережа є складною технічною системою, що забезпечує передавання різноманітних видів інформації між абонентами на будь-яких відстанях. У сучасному розумінні телекомунікаційна мережа охоплює сукупність вузлів комутації, ліній передавання, кінцевого обладнання та систем управління, які функціонують як єдиний організм для задоволення потреб користувачів у обміні інформацією.

Основне призначення телекомунікаційної мережі полягає в організації надійного, якісного та економічно ефективного зв'язку між абонентами, незалежно від їх місцезнаходження. Досягнення цієї мети вимагає вирішення низки складних інженерних задач, пов'язаних із вибором топології мережі, протоколів взаємодії, методів комутації та способів захисту інформації від несанкціонованого доступу і перешкод.

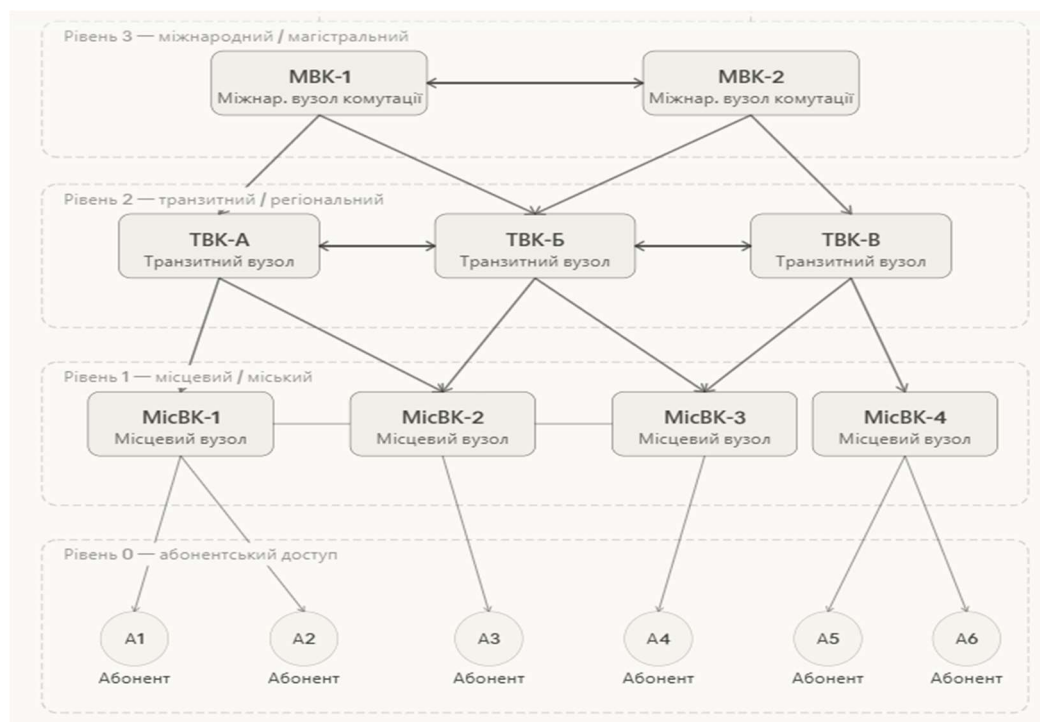


Рисунок 1.1 - Узагальнена структура телекомунікаційної мережі

1.2. Класифікація телекомунікаційних мереж

Телекомунікаційні мережі класифікуються за різними ознаками, серед яких найважливішими є: масштаб охоплення території, вид комутації, тип середовища передавання, характер переданої інформації та спосіб доступу до мережі. За масштабом розрізняють локальні, регіональні, національні та глобальні мережі, кожна з яких характеризується специфічними вимогами до обладнання, протоколів та методів управління.

Важливою класифікаційною ознакою є вид комутації: мережі з комутацією каналів забезпечують виділений канал між абонентами на час сеансу зв'язку, тоді як мережі з комутацією пакетів розбивають повідомлення на окремі пакети, які передаються незалежно один від одного і збираються в єдине ціле у вузлах призначення. Мережі з комутацією повідомлень займають проміжне місце і широко використовувались у системах телеграфного зв'язку.



Рисунок 1.2 - Класифікація телекомунікаційних мереж за основними ознаками



Рисунок 1.2 - Класифікація телекомунікаційних мереж за додатковими ознаками

1.3. Архітектура телекомунікаційних мереж

Архітектура сучасних телекомунікаційних мереж будується відповідно до принципу ієрархічності, що дозволяє ефективно управляти складними багаторівневими системами. На нижньому рівні ієрархії знаходяться абонентські пристрої та лінії доступу, на середньому — регіональні вузли комутації та транзитні з'єднання, а на верхньому — міжнародні вузли та магістральні канали передавання. Така ієрархічна побудова забезпечує масштабованість мережі та спрощує процеси планування і технічного обслуговування.

Концепція еталонної моделі взаємодії відкритих систем (OSI) визначає семирівневу архітектуру, в якій кожен рівень виконує строго визначені функції та взаємодіє лише з суміжними рівнями через стандартизовані інтерфейси. Ця модель стала основою для розроблення численних телекомунікаційних протоколів і суттєво спрощує проектування, розгортання та технічну підтримку мереж різних виробників.

Рівень	Назва	Протоколи / стандарти
7 Application	Прикладний Інтерфейс з користувачем	HTTP, FTP, SMTP, DNS, SSH, Telnet, SNMP
6 Presentation	Представлення Кодування, шифрування	SSL/TLS, JPEG, MPEG, ASCII, Unicode, XDR
5 Session	Сеансовий Управління сеансом	NetBIOS, RPC, PPTP, SIP, H.245, SAP
4 Transport	Транспортний Наскрізне передавання	TCP, UDP, SCTP, DCCP, SPX
3 Network	Мережевий Маршрутизація пакетів	IP, ICMP, OSPF, BGP, RIP, MPLS, IPSec
2 Data Link	Канальний Кадрування, MAC-адреси	Ethernet, PPP, HDLC, Wi-Fi (802.11), ATM
1 Physical	Фізичний Біти по середовищу	RS-232, V.35, DSL, SDH/SONET, IEEE 802.3

Рисунок 1.3 - Семирівнева модель OSI та відповідність протоколів

1.4. Показники якості телекомунікаційних мереж

Якість функціонування телекомунікаційної мережі оцінюється за сукупністю кількісних показників, серед яких провідне місце займають: пропускна здатність, затримка передавання, коефіцієнт бітових помилок, ймовірність втрати пакетів та коефіцієнт готовності. Пропускна здатність мережі визначає максимальну кількість інформації, яка може бути передана за одиницю часу, і залежить від технічних характеристик обладнання, протоколів та навантаження мережі.

Затримка передавання є критичним параметром для послуг реального часу, зокрема голосового зв'язку та відеоконференцій, де максимально допустима затримка становить кілька десятків мілісекунд. Коефіцієнт бітових помилок характеризує достовірність передавання цифрової інформації і нормується відповідно до стандартів МСЕ-Т для кожного виду телекомунікаційної послуги. Коефіцієнт готовності відображає частку часу, протягом якої мережа доступна для використання, і для сучасних систем зв'язку цей показник має наближатися до одиниці.

Лекція 2. Інформація, повідомлення та сигнал

2.1. Поняття інформації в телекомунікаційних системах

Інформація в контексті телекомунікаційних систем розглядається як змістовна сутність, яка підлягає передаванню від джерела до споживача. Математичну основу теорії інформації заклав Клод Шеннон, який запропонував кількісну міру інформації — ентропію, що характеризує ступінь невизначеності джерела повідомлень. Кількість інформації вимірюється в бітах, байтах та похідних одиницях і визначається через ймовірності появи окремих символів алфавіту джерела.

У телекомунікаційних системах розрізняють первинну інформацію, яка породжується джерелом у природній формі, та вторинну, яка виникає в результаті перетворень у процесі передавання. Ефективне стискання інформації дозволяє суттєво зменшити обсяг переданих даних без втрати або з контрольованою втратою змісту, що є надзвичайно важливим для раціонального використання пропускної здатності каналів зв'язку.

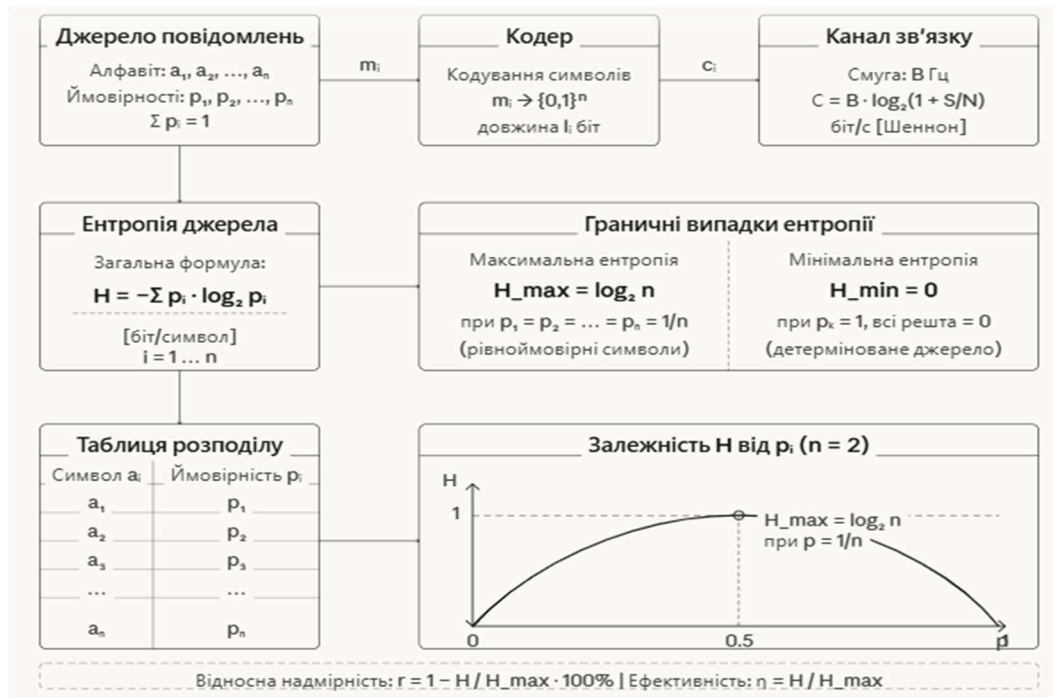


Рисунок 2.1 - Модель джерела інформації та кількісна оцінка ентропії

2.2. Повідомлення та його властивості

Повідомлення є формою представлення інформації, яка зрозуміла як відправнику, так і отримувачу. У телекомунікаційних системах повідомлення може бути безперервним або дискретним залежно від природи джерела. Неперервні повідомлення характерні для мовного зв'язку, музичного мовлення та аналогового телебачення, тоді як дискретні використовуються в системах передавання даних, телеграфії та цифровому зв'язку.

Для кількісного опису повідомлень використовують статистичні характеристики: середнє значення, дисперсію, кореляційну функцію та спектральну густину потужності. Ці характеристики визначають вимоги до параметрів каналу передавання, зокрема до смуги пропускання та динамічного діапазону. Перетворення неперервних повідомлень у цифрову форму здійснюється за допомогою дискретизації, квантування та кодування відповідно до теореми Котельникова-Найквіста.

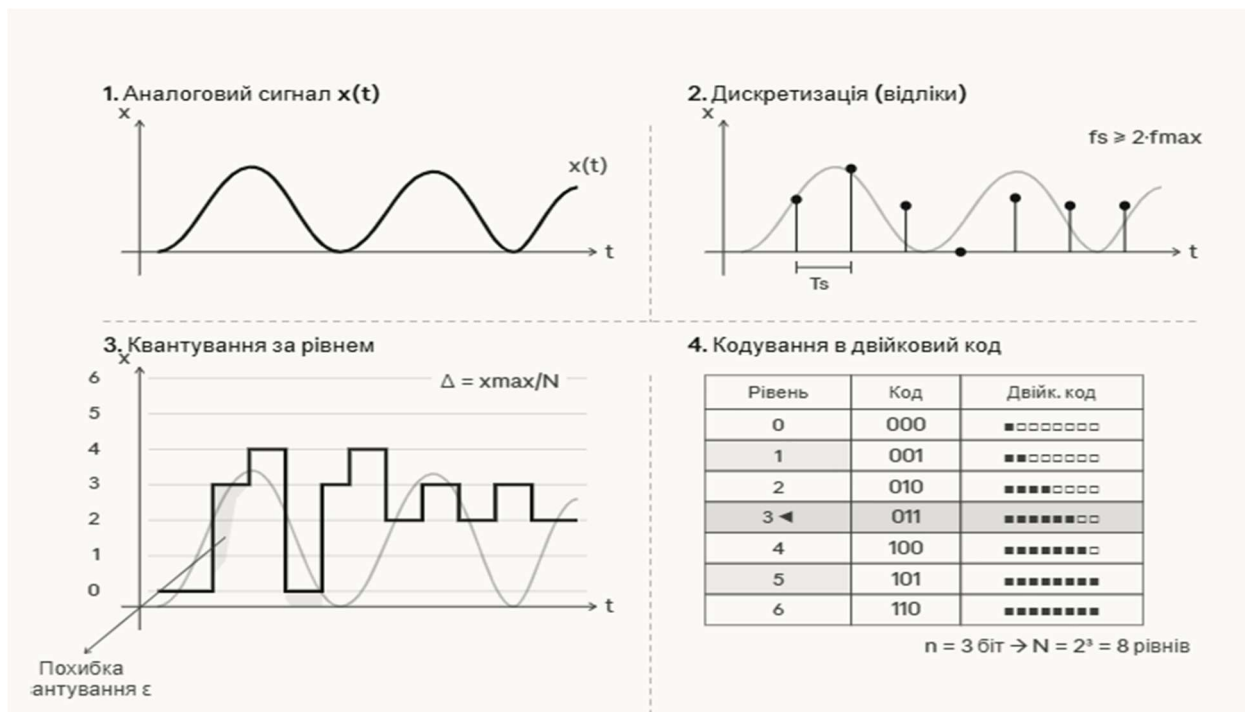


Рисунок 2.2 - Процес дискретизації та квантування аналогового сигналу

2.3. Сигнал як фізичний носій повідомлення

Сигнал є фізичним процесом, що несе інформацію про повідомлення і може поширюватися в середовищі передавання. У залежності від характеру зміни параметрів розрізняють детерміновані та випадкові сигнали, а також неперервні та дискретні. Детерміновані сигнали описуються точними математичними функціями, тоді як для опису випадкових сигналів застосовують апарат математичної статистики та теорії ймовірностей.

Спектральний аналіз є потужним інструментом дослідження сигналів і базується на розкладанні довільного сигналу у ряд Фур'є або на застосуванні перетворення Фур'є. Спектр сигналу показує розподіл амплітуд і фаз гармонічних складових по частоті та дозволяє оцінити необхідну смугу пропускання каналу передавання. Для практичних застосувань важливими характеристиками спектру є ширина смуги частот і розподіл потужності між гармонічними складовими.

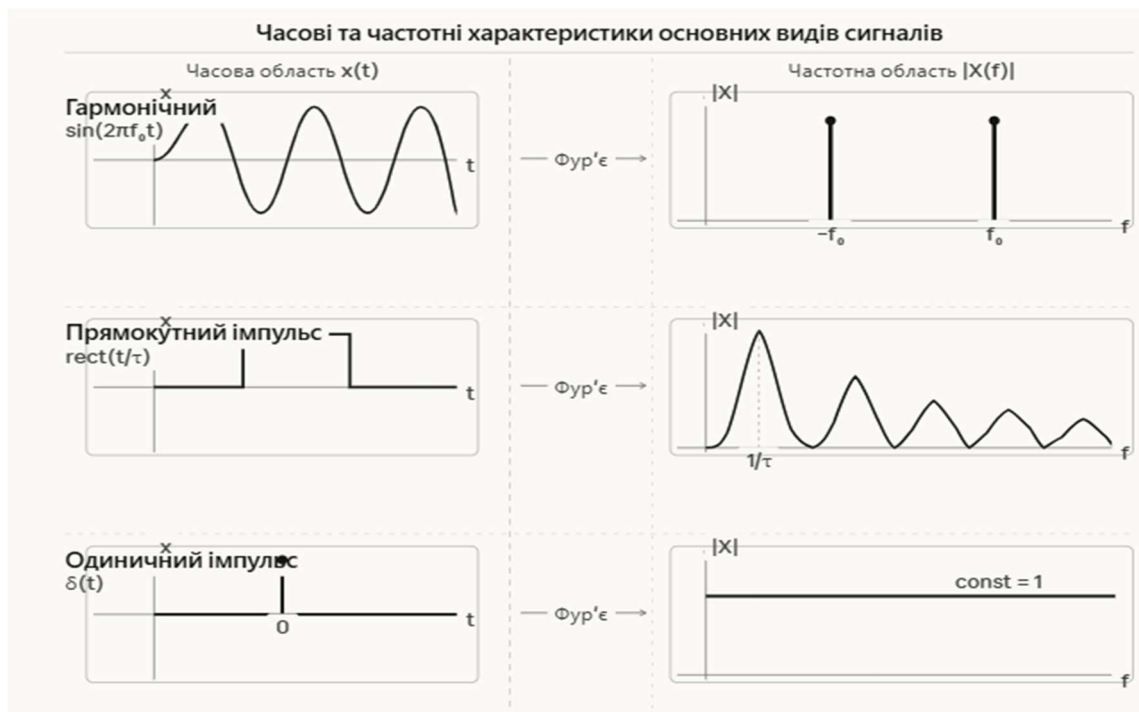


Рисунок 2.3 - Часові та частотні характеристики основних видів сигналів

2.4. Перетворення сигналів у системах зв'язку

У процесі передавання інформації сигнал зазнає різноманітних перетворень, які здійснюються з метою підвищення завадостійкості, ефективного використання смуги частот або узгодження параметрів сигналу з характеристиками каналу. Модуляція є базовим видом перетворення, при якому параметр несучого коливання змінюється відповідно до переданого повідомлення. Розрізняють амплітудну, частотну, фазову та комбіновані види модуляції.

Цифрова обробка сигналів набула широкого розповсюдження завдяки розвитку мікропроцесорної техніки та дозволяє реалізовувати складні алгоритми фільтрації, стискання та кодування з недосяжною для аналогових методів точністю та стабільністю. Перетворення аналогового сигналу в цифровий здійснюється аналого-цифровим перетворювачем і супроводжується кількісними похибками, величина яких залежить від розрядності перетворювача та частоти дискретизації.

Лекція 3. Багатоканальні системи передачі

3.1. Принципи багатоканального передавання

Багатоканальне передавання є методом одночасного використання одного фізичного середовища або смуги частот для передавання кількох незалежних повідомлень. Основна ідея полягає в розподілі ресурсу каналу між користувачами таким чином, щоб забезпечити роздільне відновлення кожного повідомлення на приймальному боці. Впровадження багатоканальних систем дозволило суттєво підвищити ефективність використання дорогих ліній зв'язку та знизити питомі витрати на передавання одиниці інформації.

Теоретичною основою багатоканального передавання є теорема про пропускну здатність каналу, сформульована Шенноном, згідно з якою максимальна пропускна здатність каналу визначається його смугою пропускання та відношенням сигнал/шум. Практична реалізація багатоканальних систем вимагає вирішення задач мультиплексування, тобто об'єднання декількох потоків інформації в один спільний потік для передавання, та демультимплексування, тобто поділу спільного потоку на складові.



Рисунок 3.1 - Принцип організації багатоканального зв'язку

3.2. Частотне розділення каналів

Частотне розділення каналів є одним з найстаріших і найбільш поширених методів організації багатоканального зв'язку, при якому кожному каналу виділяється окрема смуга частот в загальному спектрі сигналу. Між сусідніми каналами передбачаються захисні смуги, що запобігають взаємним завадам. Системи з частотним розділенням каналів набули широкого застосування в аналоговій телефонії, радіомовленні та супутниковому зв'язку.

При реалізації частотного розділення кожний первинний сигнал переноситься на відповідну несучу частоту за допомогою амплітудної модуляції з подавленням несучої. Груповий сигнал, що представляє собою суму модульованих сигналів усіх каналів, передається по лінії зв'язку. На приймальному боці кожний канал виділяється смуговим фільтром із центральною частотою, рівною несучій частоті відповідного каналу, після чого здійснюється демодуляція.

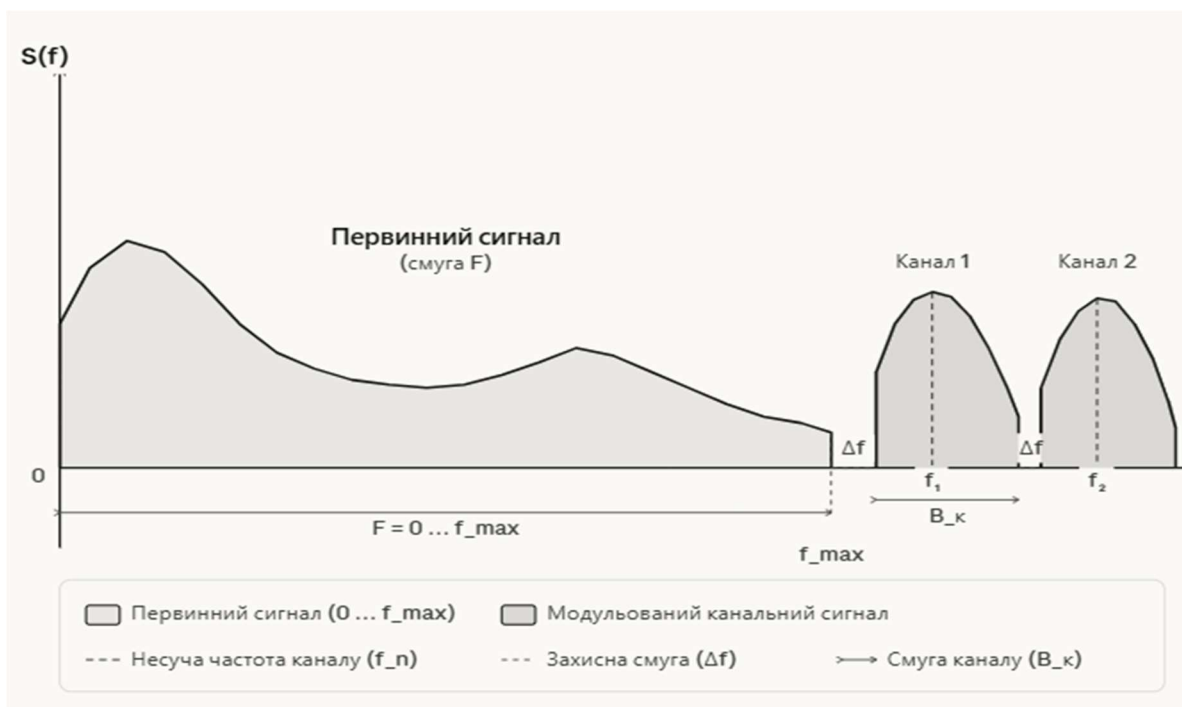
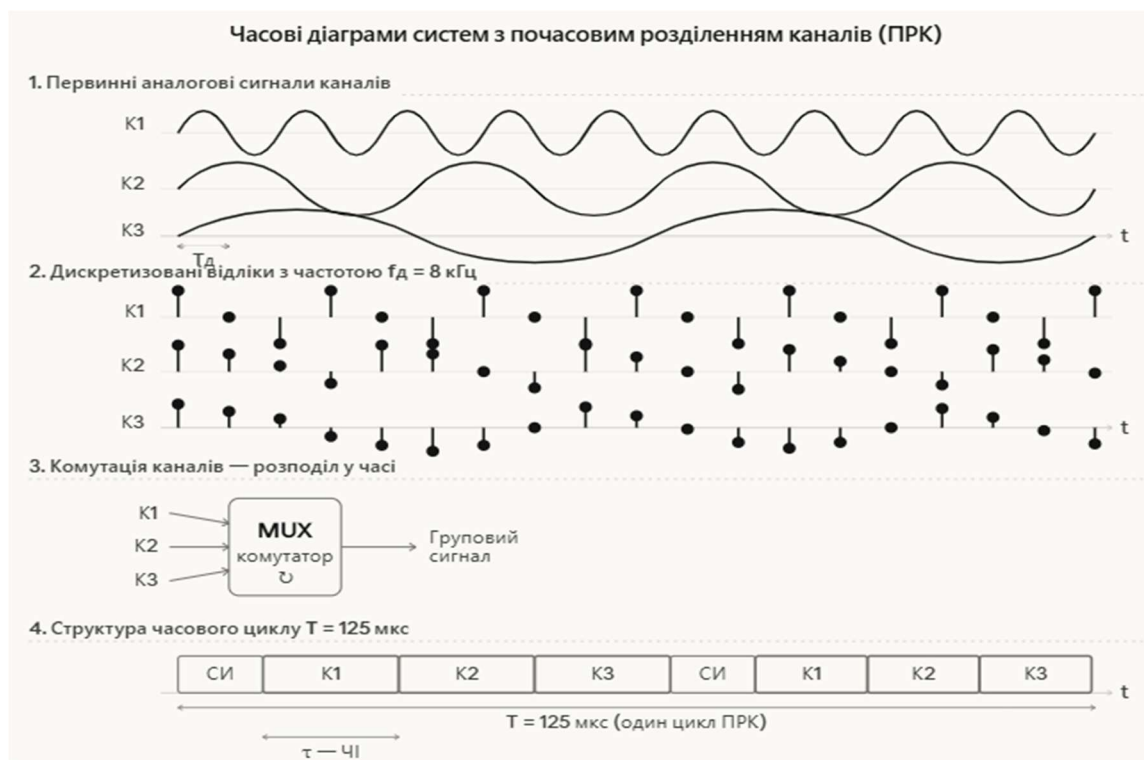


Рисунок 3.2 - Спектральна діаграма системи з частотним розділенням каналів

3.3. Часове розділення каналів

Часове розділення каналів ґрунтується на принципі поперемінного надання одного спільного каналу різним абонентам у певні проміжки часу. Кожному каналу призначається власний часовий інтервал, що циклічно повторюється, а в межах цього інтервалу каналу надається весь ресурс смуги частот лінії зв'язку. Синхронізація часових інтервалів на боці передавача і приймача є обов'язковою умовою правильного функціонування системи.

Переваги систем із часовим розділенням каналів перед системами з частотним розділенням полягають у кращому узгодженні з цифровими методами передавання інформації, меншій чутливості до нелінійних спотворень та простіших алгоритмах демультимплексування. Сучасні цифрові системи передавання базуються саме на часовому розділенні каналів і забезпечують практично необмежене нарощування кількості каналів за рахунок збільшення тактової частоти.



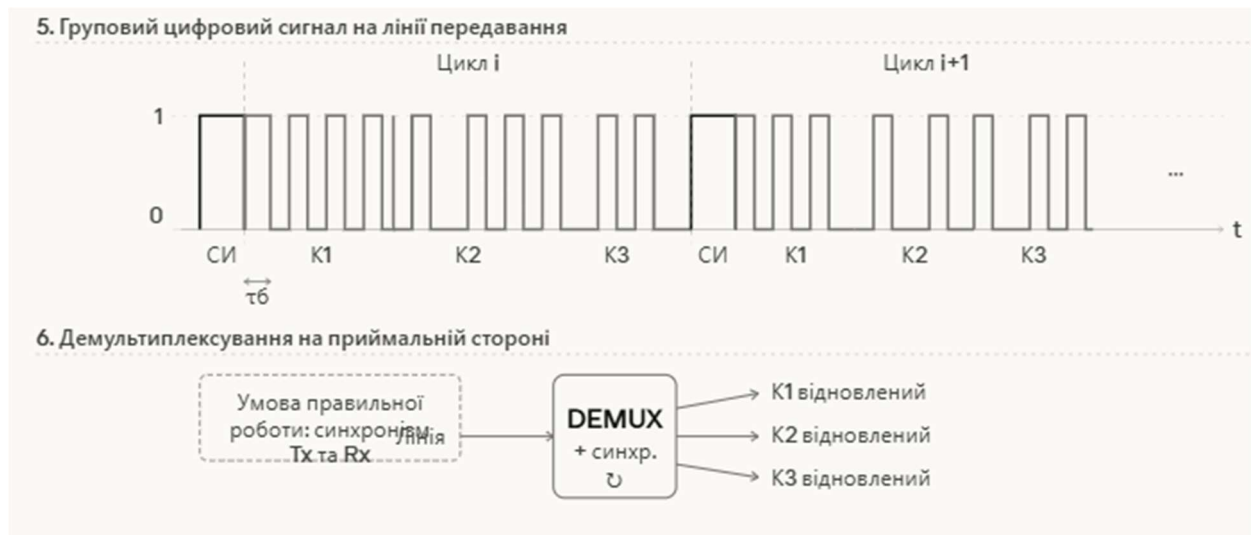


Рисунок 3.3 - Часові діаграми систем з почасовим розділенням каналів

3.4. Кодове розділення каналів

Кодове розділення каналів є сучаснішим методом, при якому різним каналам призначаються ортогональні коди розширення спектру, що дозволяє всім каналам одночасно використовувати одну й ту ж смугу частот. Сигнали різних каналів розрізняються на приймальному боці за кодовими ознаками шляхом кореляційної обробки. Технологія CDMA, заснована на кодовому розділенні, знайшла широке застосування в системах стільникового рухомого зв'язку третього покоління.

Стійкість систем з кодовим розділенням до навмисних завад, простота організації мережного доступу та можливість плавного нарощування ємності мережі є суттєвими перевагами даного методу. Разом із тим реалізація систем з кодовим розділенням потребує складних схем синхронізації та потужної обчислювальної бази для кореляційної обробки сигналів у реальному масштабі часу.

Лекція 4. Загальні принципи побудови ЦСП із почасовим розділенням каналних сигналів (ПРК)

4.1. Структура цифрової системи передавання з ПРК

Цифрова система передавання з почасовим розділенням каналних сигналів являє собою комплекс обладнання, що забезпечує формування, передавання і прийом цифрових потоків даних від безлічі джерел із використанням одного спільного каналу зв'язку. Основними функціональними блоками цифрової системи передавання є: первинні кодери та декодери для кожного каналу, мультиплексор, регенератори лінійного сигналу, демультимплексор та блок синхронізації.

Первинний кодер кожного каналу виконує аналого-цифрове перетворення вхідного аналогового сигналу, що включає три послідовні операції: дискретизацію з частотою, яка задовольняє теоремі Найквіста, квантування відліків за рівнем та кодування квантованих значень двійковими кодовими словами. Результатом первинного кодування є послідовність цифрових кодів, що представляє зміну аналогового сигналу в часі із заданою точністю.

4.2. Формування цифрового потоку

Формування спільного цифрового потоку здійснюється мультиплексором, який по черзі підключає до лінії передавання цифрові послідовності від кожного каналу в суворо визначеній часовій послідовності. Часовий цикл мультиплексора поділяється на рівні часові інтервали, кожен з яких призначений для одного каналу. Протягом свого часового інтервалу канал передає один або кілька двійкових символів, що відповідають черговому відліку вхідного аналогового сигналу.

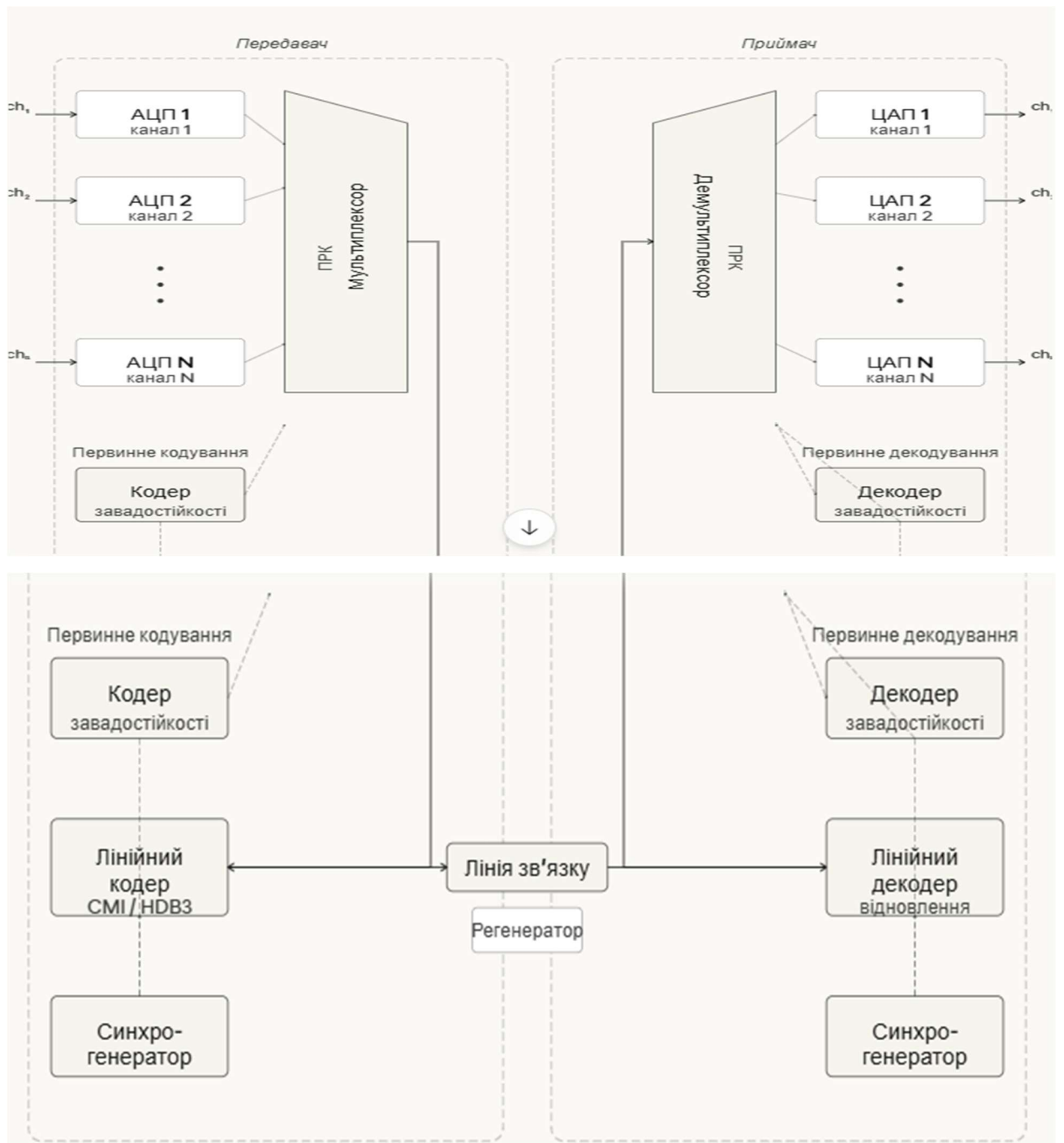


Рисунок 4.1 - Узагальнена структурна схема ЦСП з ПРК

Структура циклу цифрового первинного потоку, прийнята у вітчизняних і міжнародних стандартах на основі рекомендацій МСЕ-Т, передбачає 32 часових інтервали тривалістю 3,9 мкс кожен. З них 30 інтервалів використовуються для передавання інформації 30 каналів, один інтервал призначений для синхронізації, а ще один — для сигналізації та керування.

Тривалість циклу становить 125 мкс, що відповідає частоті дискретизації мовного сигналу 8 кГц.



Рисунок 4.2 - Структура циклу первинного цифрового потоку E1

4.3. Синхронізація в ЦСП з ПРК

Синхронізація є одним із найважливіших аспектів функціонування цифрових систем передавання, оскільки правильне розділення спільного потоку на складові канали можливе лише за умови точного суміщення часових шкал передавача і приймача. Система синхронізації ЦСП виконує дві основні функції: циклову синхронізацію, що забезпечує правильне визначення меж циклу, та бітову синхронізацію, що дозволяє точно визначати моменти прийняття рішень у детекторі.

Циклова синхронізація досягається шляхом передавання у фіксованому часовому інтервалі циклу відомої синхрокомбінації, яку приймач шукає в отриманому потоці методом порівняння. При порушенні синхронізації система управління виконує процедуру пошуку та відновлення синхронізму, яка може займати від декількох до кількох сотень мілісекунд залежно від алгоритму і параметрів каналу.

4.4. Завадостійке кодування в ЦСП

Завадостійке кодування застосовується в цифрових системах передавання для підвищення достовірності прийому шляхом введення надмірності в переданий сигнал. Завдяки надмірності приймач здатний виявляти і виправляти помилки, що виникають у каналі зв'язку під дією шуму та завад. Основними характеристиками завадостійких кодів є кількість символів, що виявляються і виправляються, а також кодовий відрізок.

У практичних ЦСП широко застосовуються лінійні блокові коди Хемінга та Ріда-Соломона, а також згорткові коди з алгоритмом декодування Вітербі. Вибір конкретного коду визначається вимогами до завадостійкості, наявною смугою пропускання та обчислювальними ресурсами обладнання. У сучасних волоконно-оптичних системах передавання завдяки кодуванню вдається досягти коефіцієнта бітових помилок на рівні 10^{-15} і менше.

Лекція 5. Методи часового мультиплексування сигналів

5.1. Синхронне часове мультиплексування

Синхронне часове мультиплексування передбачає жорсткий розподіл часових інтервалів між каналами незалежно від того, чи є реальний трафік у відповідному каналі в даний момент. Кожному каналу гарантовано надається визначена смуга пропускання, що забезпечує стабільну затримку і відсутність конкуренції між каналами за ресурси. Ця властивість робить синхронне мультиплексування ідеальним для передавання мовного зв'язку та інших послуг реального часу, де нерівномірність затримки є неприпустимою.

Ієрархія синхронних цифрових потоків, прийнята в Європі, включає чотири рівні: первинний потік E1 зі швидкістю 2,048 Мбіт/с, вторинний E2 — 8,448 Мбіт/с, третинний E3 — 34,368 Мбіт/с та четвертинний E4 — 139,264 Мбіт/с. Перехід від одного рівня до іншого здійснюється за допомогою плезіохронного мультиплексування, при якому незначне розбіжність тактових частот компенсується операцією вирівнювання.

5.2. Асинхронне (статистичне) мультиплексування

Асинхронне мультиплексування, яке також називають статистичним, розподіляє ресурс каналу між користувачами динамічно залежно від поточного навантаження. Каналу надається більша частина ресурсу, коли він активно передає дані, і менша або нульова, коли трафік відсутній. Таким чином досягається значно ефективніше використання пропускну здатності в порівнянні з синхронним мультиплексуванням, оскільки ресурс не витрачається на «мовчання» неактивних каналів.

Статистичне мультиплексування лежить в основі технологій пакетної передавання даних, зокрема IP-мереж та Frame Relay. Разом із тим воно супроводжується нерівномірністю затримки, що визначається поточним навантаженням мультиплексора і може призводити до погіршення якості

послуг реального часу. Для вирішення цієї проблеми застосовуються механізми управління трафіком і якості обслуговування.

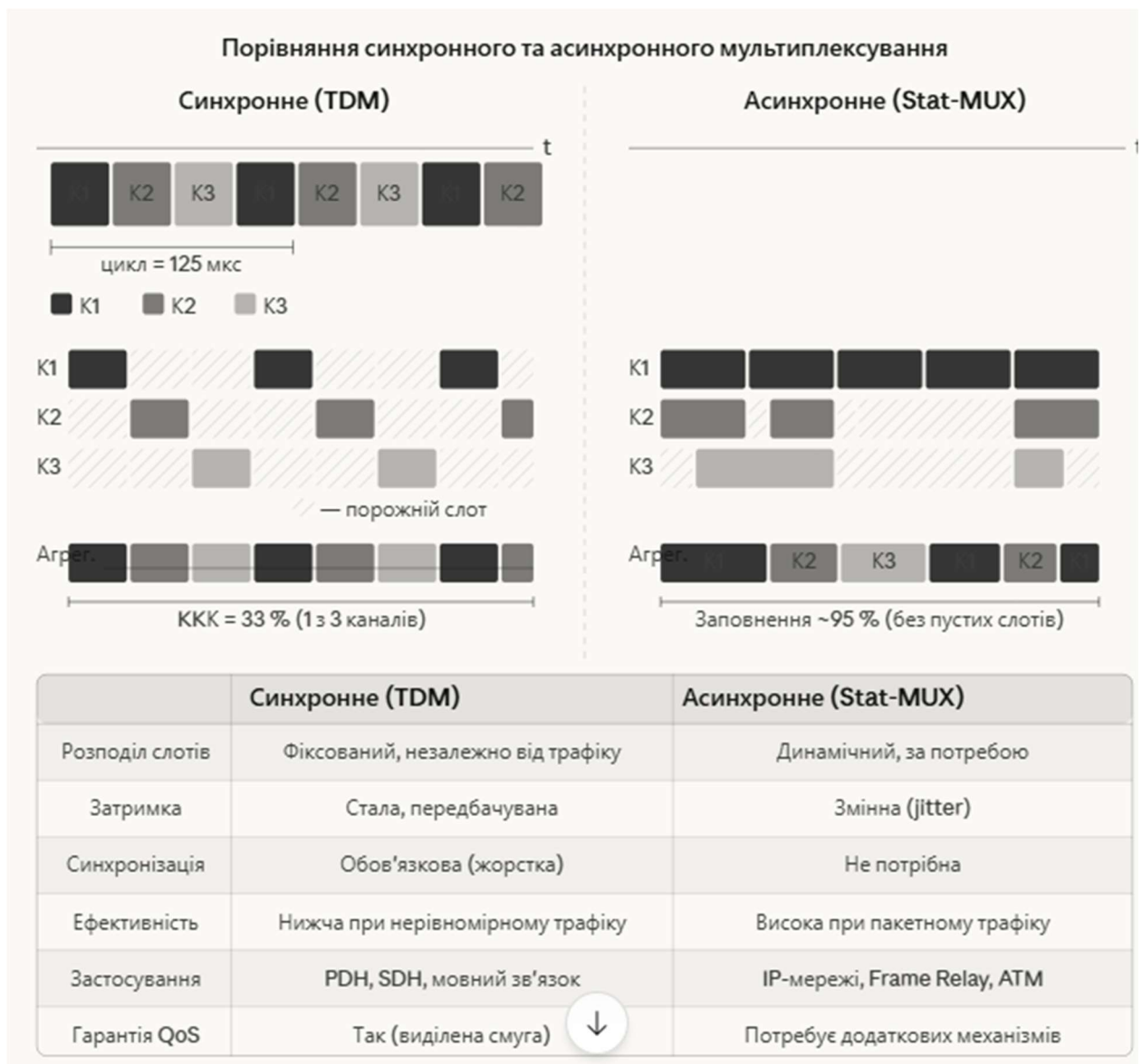


Рисунок 5.2 - Порівняння синхронного та асинхронного мультиплексування

5.3. Хвильове мультиплексування (WDM)

Хвильове мультиплексування є методом збільшення пропускної здатності волоконно-оптичних ліній зв'язку шляхом одночасного передавання кількох незалежних оптичних сигналів на різних довжинах хвиль у одному волокні. Кожна довжина хвилі являє собою незалежний оптичний канал,

здатний передавати власний цифровий потік. Сучасні системи щільного хвильового мультиплексування DWDM забезпечують розміщення до 96 і більше каналів у стандартному волокні з інтервалом між каналами 50 або 100 ГГц.

Ключовими компонентами WDM-систем є: лазерні джерела зі стабілізованою довжиною хвилі для кожного каналу, мультиплексори та демультиплексори на основі дифракційних решіток або інтерферометрів Фабрі-Перо, оптичні підсилювачі на ербієволоконних підсилювачах та компенсатори хроматичної дисперсії. Системи WDM є основою сучасних магістральних мереж і забезпечують загальну пропускну здатність одного волокна до декількох терабіт за секунду.

5.4. Мультиплексування в бездротових мережах

У бездротових телекомунікаційних системах застосовуються специфічні методи мультиплексування, адаптовані до властивостей радіоканалу. Ортогональне частотне мультиплексування OFDM розбиває широкосмуговий канал на велику кількість вузькосмугових ортогональних піднесучих, кожна з яких модулюється незалежно. Такий підхід забезпечує стійкість до частотно-вибіркових завмирань і міжсимвольних інтерференцій, характерних для бездротових каналів.

Технологія OFDM стала базовою для стандартів бездротового широкосмугового доступу LTE, WiMAX та WiFi. У поєднанні з технікою MIMO, яка передбачає використання множини антен на приймальному і передавальному боці, OFDM забезпечує спектральну ефективність до 30 біт/с/Гц і вище. Подальший розвиток цього напрямку пов'язаний із впровадженням масивних антенних систем massive MIMO у мережах п'ятого покоління 5G.

Лекція 6. Трибутарні потоки ЦСП СЦІ. Формування інформаційних структур у ЦСП СЦІ

6.1. Концепція синхронної цифрової ієрархії (СЦІ)

Синхронна цифрова ієрархія (СЦІ) є міжнародним стандартом для побудови транспортних телекомунікаційних мереж, розробленим з метою усунення недоліків плетіохронної цифрової ієрархії (ПЦІ). Основними перевагами СЦІ є можливість безпосереднього доступу до трибутарних потоків без повного розкладання агрегатного потоку, стандартизовані оптичні інтерфейси, вбудовані канали управління та контролю, а також розвинені засоби захисту та відновлення мережі.

Стандарти СЦІ розроблені МСЕ-Т і визначають ієрархію синхронних транспортних модулів (STM). Базовим елементом ієрархії є STM-1 зі швидкістю передавання 155,52 Мбіт/с, якому відповідає американський еквівалент OC-3/STS-3 у стандарті SONET. Шляхом мультиплексування кількох потоків STM-1 формуються потоки вищих рівнів: STM-4 — 622,08 Мбіт/с, STM-16 — 2,488 Гбіт/с та STM-64 — 9,953 Гбіт/с.

Ієрархія рівнів СЦІ (SDH) та відповідність SONET			
SDH рівень	Швидкість (Мбіт/с)	SONET еквівалент	Трибутарні канали
STM-1 базовий рівень	155,52 0,155 Гбіт/с	OC-3 / STS-3 3 × STS-1	63 × E1 або 1 × E4
STM-4 4 × STM-1	622,08 0,622 Гбіт/с	OC-12 / STS-12 12 × STS-1	252 × E1 або 4 × E4
STM-16 16 × STM-1	2 488,32 2,488 Гбіт/с	OC-48 / STS-48 48 × STS-1	1 008 × E1 або 16 × E4
STM-64 64 × STM-1	9 953,28 9,953 Гбіт/с	OC-192 / STS-192 192 × STS-1	4 032 × E1 або 64 × E4
STM-256 256 × STM-1	39 813,12 39,81 Гбіт/с	OC-768 / STS-768 768 × STS-1	16 128 × E1 або 256 × E4

Рисунок 6.1 - Ієрархія рівнів СЦІ та відповідність стандартам SONET/SDH

6.2. Трибутарні потоки та їх класифікація

Трибутарними потоками в контексті СЦІ називаються цифрові потоки ПЦІ, які є складовими елементами агрегатного потоку СЦІ. Трибутарні потоки поділяються на три рівні: низькошвидкісні потоки 2 Мбіт/с (E1), середньошвидкісні 34 Мбіт/с (E3) та 45 Мбіт/с (DS3) і високошвидкісні 140 Мбіт/с (E4). Кожен рівень трибутарних потоків розміщується у відповідний контейнер СЦІ, який забезпечує узгодження швидкостей між потоками ПЦІ та транспортною структурою СЦІ.

Контейнери СЦІ поділяються на два типи: стандартні контейнери С, що безпосередньо приймають трибутарний потік і виконують вирівнювання швидкостей, та віртуальні контейнери VC, що являють собою контейнер разом із заголовком тракту і є основним об'єктом маршрутизації у транспортній мережі СЦІ. Заголовок тракту забезпечує наскрізний контроль, супровід та управління трактом від точки збирання до точки розбирання віртуального контейнера.

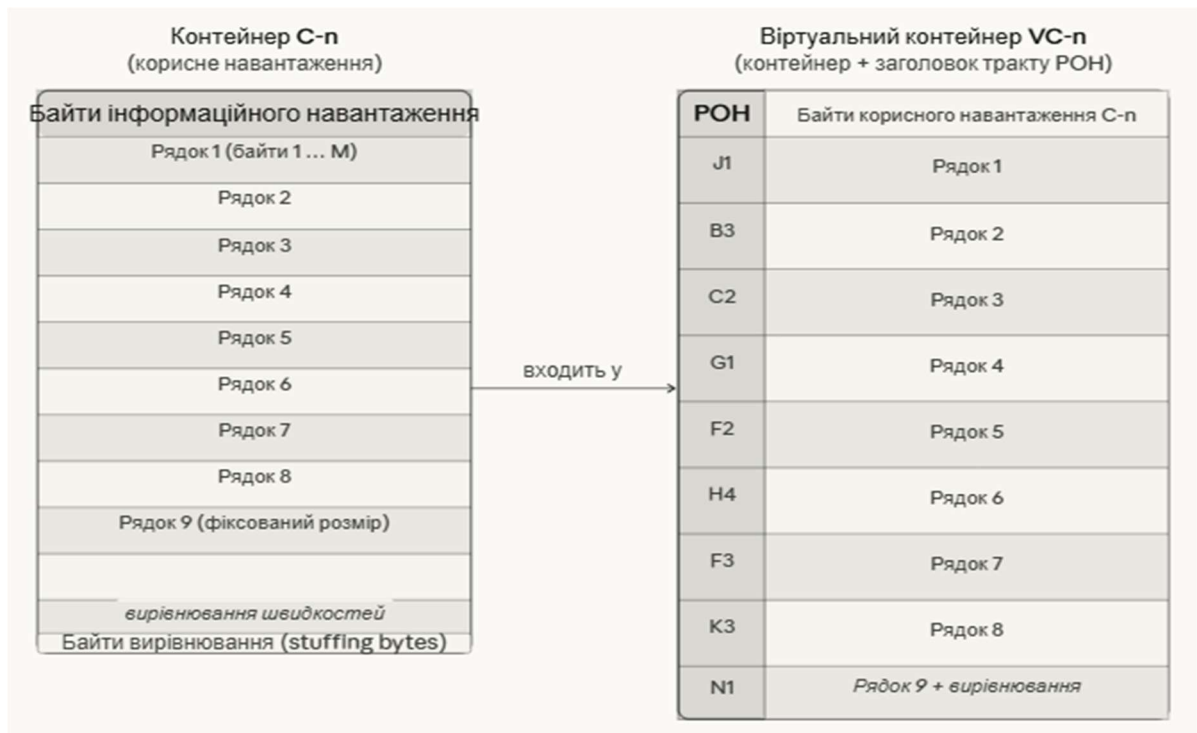


Рисунок 6.2 - Структура контейнера та віртуального контейнера СЦІ

6.3. Формування інформаційних структур у ЦСП СЦІ

Формування агрегатного потоку СЦІ є складним ієрархічним процесом, що включає послідовне виконання операцій пакування, розміщення та мультиплексування. На першому етапі трибутарний потік ПЦІ завантажується у відповідний стандартний контейнер із виконанням вирівнювання швидкостей за допомогою механізму позитивного, негативного або нульового вирівнювання. Вирівнювання компенсує незначні відхилення фактичної швидкості трибутарного потоку від номінального значення.

На другому етапі контейнер разом із заголовком тракту утворює віртуальний контейнер, який є основною одиницею маршрутизації в мережі СЦІ. Потім VC розміщується у транспортний блок (TU) або модуль адміністративних блоків (AU) із зазначенням вказівника, що визначає точне положення першого байту VC у структурі STM. Вказівники є ключовим механізмом, що дозволяє відслідковувати переміщення VC у випадку зміни затримки в мережі.

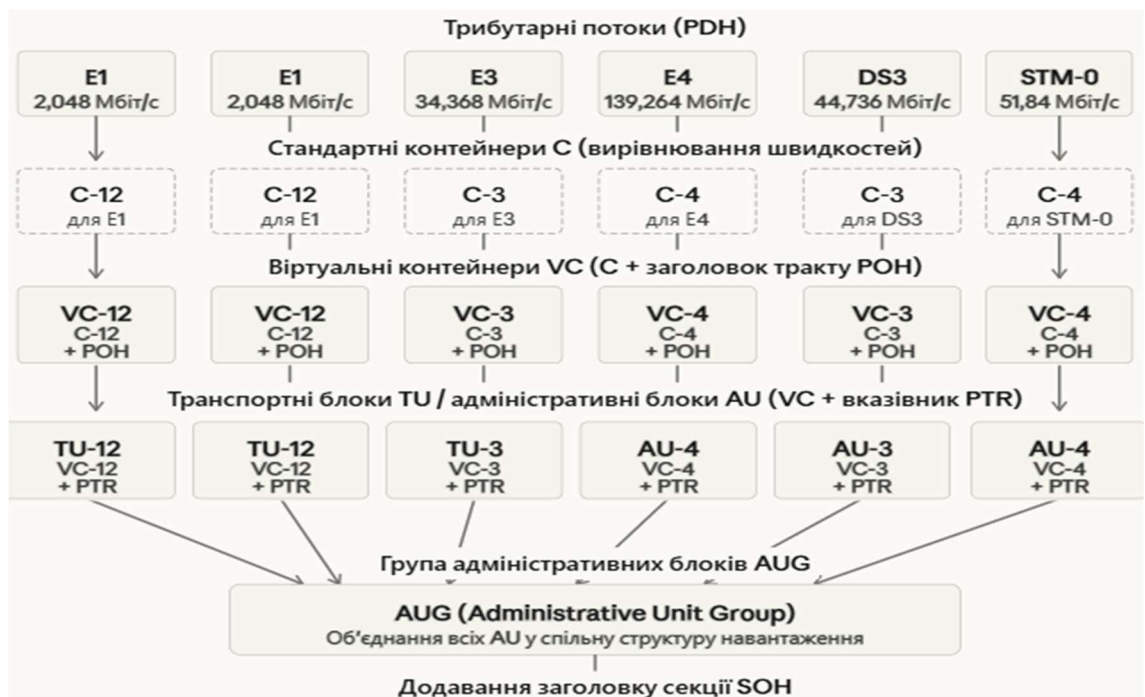


Рисунок 6.3 - Процес формування STM-1: від трибутарних потоків до агрегатного сигналу

6.4. Заголовки та вказівники в структурі STM

Структура кадру STM-1 має розмір 9 рядків по 270 байтів, що при тактовій частоті 8 кГц забезпечує швидкість передавання 155,52 Мбіт/с. Перші дев'ять стовпців кожного рядка займає заголовок секції SOH, який ділиться на заголовок мультимплексної секції і заголовок регенераторної секції. Заголовок SOH містить байти синхронізації, байти контролю парності, службові канали зв'язку, канали передавання даних та байти для додаткових функцій.

Вказівники у структурі STM забезпечують гнучке розміщення VC у корисному навантаженні кадру і є фундаментальним механізмом, що відрізняє СЦІ від ПЦІ. Значення вказівника показує зміщення початку VC відносно визначеної опорної точки у кадрі STM. При компенсації розбіжності тактових частот значення вказівника змінюється на одиницю, що відповідає виштовхуванню або вштовхуванню трьох байтів VC. Механізм вказівників забезпечує прозоре транспортування VC через мережу СЦІ з різними тактовими доменами.

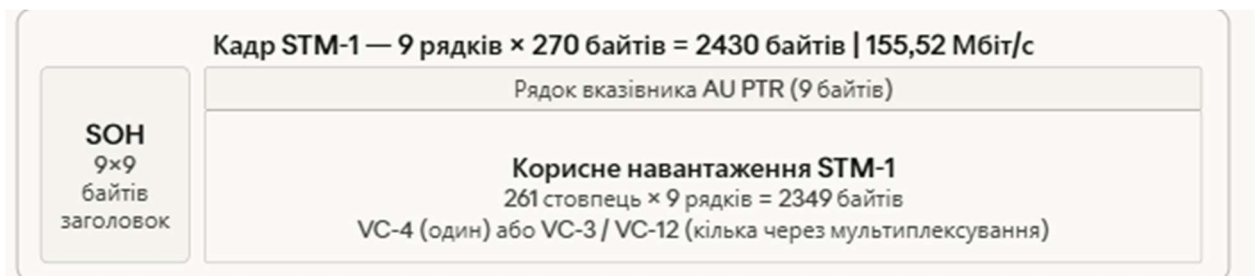


Рисунок 6.4 - Структура кадру STM-1

6.5. Захист та відновлення в мережах СЦІ

Одним із суттєвих переваг мереж СЦІ є вбудовані механізми захисту від відмов, що дозволяють автоматично відновлювати зв'язок у разі пошкодження обладнання або волоконно-оптичного кабелю. Найпоширенішими схемами захисту є: лінійний захист 1+1, при якому сигнал одночасно передається по

основній і резервній трасах, та кільцевий захист SNCP і MS-SPRing для кільцевих топологій.

У схемі захисту 1+1 приймач постійно моніторить обидва сигнали і автоматично перемикається на резервну трасу при виявленні деградації якості основного сигналу. Час відновлення при автоматичному захисті не перевищує 50 мс, що відповідає вимогам MCE-T до захисту мереж транспортного рівня. Кільцеві схеми захисту MS-SPRing дозволяють ефективно використовувати ресурси резервної смуги для передавання некритичного трафіку в нормальному режимі роботи.

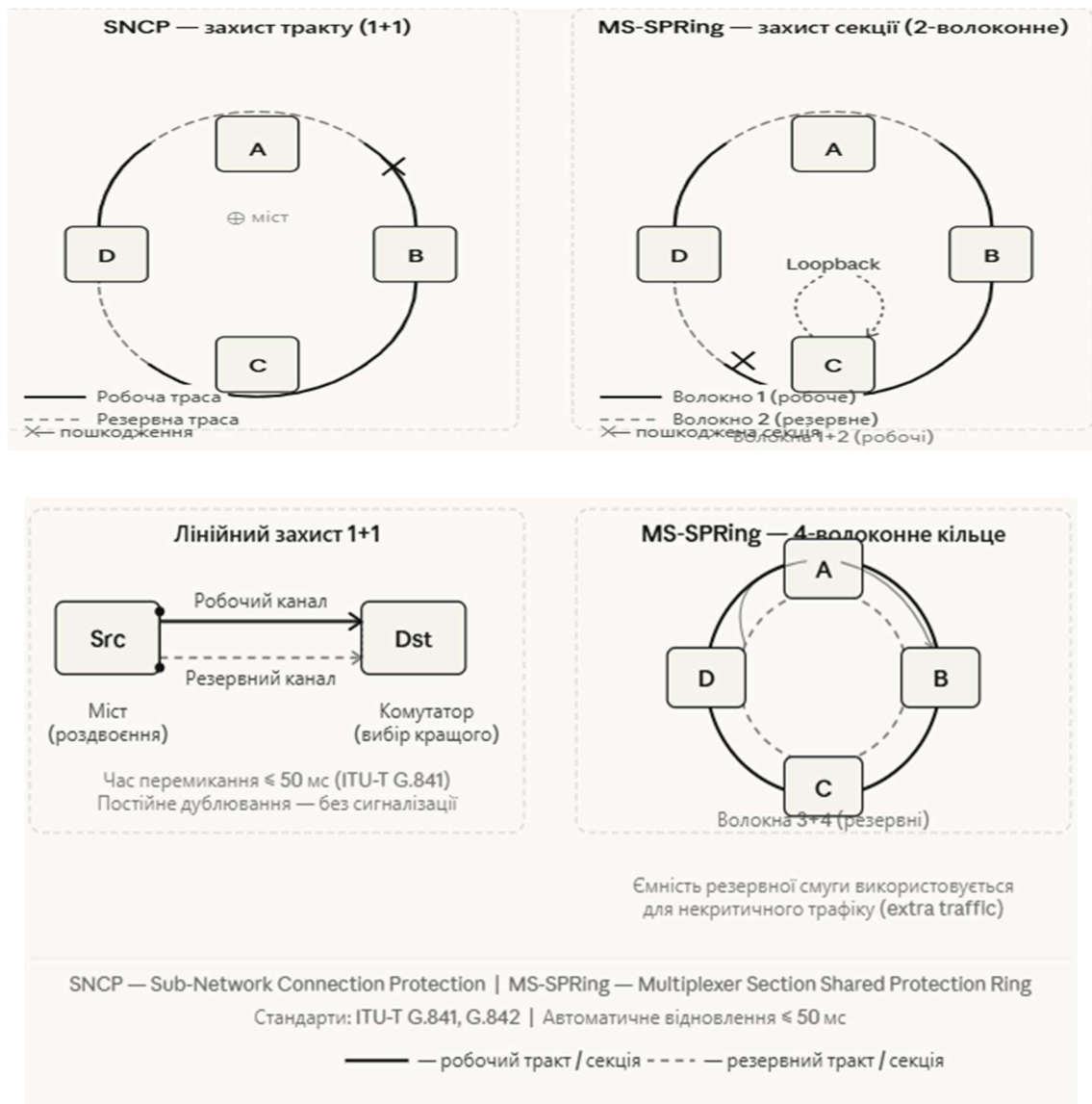


Рисунок 6.5 - Схеми захисту трактів та секцій у кільцевих мережах СЦІ

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Голь В.Д., Ірха М.С. Телекомунікаційні та інформаційні мережі: навчальний посібник. Київ : ІСЗІ КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 250 с.
2. Тарбаєв С.І., Домрачева К.О., Заїка В.Ф., Трембовецький М.П. Проектування інфокомунікаційних мереж. Навчальний посібник.. – Київ: ННІТІ ДУТ, 2019. – 151 с.
3. Горбатий І. В., Бондарєв А. П. Телекомунікаційні системи та мережі. Принципи функціонування, технології та протоколи. – Львів: Львівська політехніка, 2016. – 336 с.
4. Кайдан М. В., Клиماش М. М., Стрихалюк Б. М. Напрямні системи телекомунікаційних мереж. – Львів: Львівська політехніка, 2021. – 488 с.
5. П.П. Воробієнко, Л.А. Нікітюк, П.І. Резніченко. Телекомунікаційні та інформаційні мережі: Підручник для вищих навчальних закладів. – К.:САММІТ-КНИГА, 2010. –640 С.: іл.
6. Буров Є.В. Комп'ютерні мережі: Підручник / Буров Є.В., Митник М.М. За заг. ред. Пасічника В.В. Львів: Магнолія 2019. – 204 с.
7. Горбатий І. В., Бондарєв А. П. Телекомунікаційні системи та мережі. Принципи функціонування, технології та протоколи. Львівська політехніка, 2016. – 336 с.
8. Комп'ютерні мережі. Локальні комп'ютерні мережі. Методичні вказівки до комп'ютерного практикуму. [Текст] / Уклад.: О.Ю. Кулаков, Р.Ю. Берест – К.: НТУУ «КПІ», 2012. –164 с.
9. Комп'ютерні мережі. Загальні принципи функціонування комп'ютерних мереж : Навчальний посібник / С. В. Мінухін, С. В. Кавун, С. В. Знахур. – Харків: Вид. ХНЕУ, 2008. – 210 с.