

Міністерство освіти і науки України
Луцький національний технічний університет



ІНФОРМАЦІЙНО-ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ
ТЕХНОЛОГІЇ В СУСПІЛЬСТВІ

Конспект лекцій

для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
освітньої програми «Комп'ютеризовані телекомунікаційні мережі»
галузі знань 17 Електроніка, автоматизація та електронні комунікації
спеціальності 172 Електронні комунікації та радіотехніка
денної та заочної форм навчання

Луцьк 2024

УДК 621.39 (07)

I - 74

Електронна копія друкованого видання передана для внесення в репозитарій ЛНТУ

Директор бібліотеки _____ Світлана БАКУМЕНКО

Рекомендовано до видання вченою радою факультету комп'ютерних та інформаційних технологій ЛНТУ, протокол № __ від « __ » _____2024 року.

Голова вченої ради ФКІТ _____ Інна КОНДІУС

Розглянуто і схвалено на засіданні кафедри електроніки та телекомунікацій ЛНТУ, протокол № __ від « __ » _____2024 року.

Завідувач кафедри ЕіТК _____ Валентин ЗАБЛОЦЬКИЙ

Укладачі: _____ Наталія ЯКИМЧУК к.т.н., асистент кафедри електроніки та телекомунікацій ЛНТУ
_____ Микола ЄВСЮК к.т.н., доц. кафедри електроніки та телекомунікацій ЛНТУ

Рецензент: _____ Віктор ЛИШУК к.т.н., доц. кафедри електроніки та телекомунікацій ЛНТУ

Відповідальний за випуск: _____ Валентин ЗАБЛОЦЬКИЙ к.т.н., доц., завідувач кафедри електроніки та телекомунікацій ЛНТУ

I - 74 Інформаційно-телекомунікаційні технології в суспільстві. Конспект лекцій. Для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти освітньої програми «Комп'ютеризовані телекомунікаційні мережі» галузі знань 17 Електроніка та телекомунікації, спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка всіх форм навчання / уклад. Н.М. Якимчук, М.М. Євсюк. Луцьк: ЛНТУ, 2024. 132 с.

Методичне видання складене відповідно до діючої програми курсу «Інформаційно-телекомунікаційні технології в суспільстві» з метою надання здобувачам знань про стан і перспективи розвитку базових технологій в сфері телекомунікацій та зв'язку в Україні і світі.

Н.М. Якимчук, М.М. Євсюк. 2024

ЗМІСТ

Вступ	4
1. Предмет вивчення і задачі дисципліни.....	5
2. Структура інформаційної мережі.....	12
3. Канали передачі даних ТСМ.....	22
4. Узагальнена структура аналогових та цифрових систем зв'язку...	28
5. Базові телекомунікаційні технології мереж зв'язку.....	39
6. Системи комутації.....	47
7. Ущільнення / множинний доступ в ТСМ.....	54
8. Вузькосмугові та широкосмугові системи	62
9. Концепції мереж наступного покоління, транспортні мережі.....	68
10. Мережі абонентського проводового і безпроводового доступу.....	75
11. Взаємодія відкритих систем ТСМ.....	84
12. Мережі стільникового зв'язку.....	96
13. Професійні системи рухомого радіозв'язку.....	105
14. Організація побудови супутникових систем зв'язку.....	113
15. Проблеми та перспективи розвитку систем комунікації.....	122
Список рекомендованої літератури.....	131

ВСТУП

Телекомунікації є основою глобального інформаційного суспільства, від розвитку якого залежить науково-технічний прогрес як нашої країни, так і всього людства. Мережі зв'язку з'явилися на початку минулого століття, та за цей час встигли пройти довгу історію еволюції. На сьогодні інформаційно-телекомунікаційні системи представляють собою комплекс програмного та апаратного обладнання для передачі інформації між абонентами, які у процесі обробки інформації діють як єдине ціле. Основне функціональне призначення інформаційних систем – це забезпечення інформаційних процесів, зокрема створення, поширення, використання, збереження і знищення (утилізація) інформації.

Основу ІТС складають електронні пристрої та фізичне середовище для передачі сигналу. Дискретні електронні та електромагнітні сигнали, що циркулюють між електронними пристроями, дозволяють формувати інформацію, перетворювати її та передавати в просторі на різні відстані. Через різні набори електронних пристроїв і сигналів в ІТС реалізуються різні технології обробки інформації. Вони надають користувачам ІТС різноманітні інформаційні послуги. Розуміння базової структури та логічного взаємозв'язку технологій таких інформаційних систем є основою для опанування глибоких знань в сфері телекомунікацій.

Метою навчальної дисципліни є формування необхідних теоретичних знань та практичних навичок у галузі побудови та функціонування інформаційних систем і комп'ютерних технологій та можливостей їх використання при організації мереж зв'язку.

ТЕМА 1 ПРЕДМЕТ ВИВЧЕННЯ І ЗАДАЧІ ДИСЦИПЛІНИ

Сучасні системи передачі інформації і інформаційні мережі. Глобальна інформаційна структура. Основні види і служби телекомунікацій. Показники ефективності інформаційних мереж. Концепція розвитку телекомунікаційних систем і мереж в Україні.

Загальне поняття «телекомунікації» базується на уявленні про засоби, які дозволяють організувати зв'язок між двома і більше віддаленими пунктами. Секція телекомунікацій Міжнародного союзу електрозв'язку (Telecommunications Standardization Sector of International Telecommunications Union, ITU-T) у Рекомендаціях серії I (I.110, I.112) визначає термін «телекомунікації» (Telecommunications) як сукупність засобів, які забезпечують перенесення інформації, поданій у необхідній формі, на значну відстань за допомогою поширення сигналів в одному з середовищ (міді, оптичному волокні, ефірі) або сукупності середовищ. Засобами, визначеними загальним поняттям «засоби телекомунікацій», є лінії зв'язку, пристрої з'єднання середовищ, системи передачі, комунікаційні пристрої мережі, обладнання сигналізації, синхронізації та ін. Отже, телекомунікаційна мережа (Telecommunication Network, TN) – це системоутворююча сукупність засобів телекомунікацій, що надає територіальновіддаленим об'єктам можливість інформаційної взаємодії шляхом обміну сигналами (електричними, оптичними або радіо). До телекомунікацій відносяться електрозв'язок, мобільний, супутниковий і волоконно–оптичний зв'язок, телебачення, Інтернет, системи глобального позиціонування, локальні комп'ютерні мережі, електронний банкінг, банкомати, інтернет-магазини, соціальні мережі, пошукові системи і багато іншого. Електрозв'язок, що здійснюється за допомогою радіосигналів, називають радіозв'язком.

Глобальна інформаційна структура включає в себе різноманітні компоненти, що забезпечують обмін інформацією на міжнародному рівні. Це може включати мережі зв'язку, інтернет-провайдерів, дата-центри, технічні стандарти для обміну даними, міжнародні закони про захист особистих даних та інші аспекти, які сприяють розповсюдженню та обміну інформацією в усьому світі. Глобальні телекомунікаційні системи включають в себе різноманітні об'єкти, такі як інтернет, мережі зв'язку, супутники, сервери, комп'ютери, мобільні пристрої, кабельні системи, бази даних та інші інформаційні технології. Також сюди можна віднести системи зберігання даних, хмарні сервіси, програмне забезпечення та інформаційні ресурси.

Сучасні системи передачі інформації мають декілька **особливостей**:

- Швидкість передачі: сучасні системи здатні передавати великі обсяги інформації миттєво, завдяки високій швидкості передачі даних через різноманітні мережі.

- Безпека: забезпечення безпеки даних стає все більш важливим аспектом сучасних систем передачі інформації. Криптографічні заходи, аутентифікація та захист від несанкціонованого доступу стають стандартом.

- Мобільність: системи передачі інформації стають все більш мобільними, що дозволяє людям отримувати та надсилати дані з будь-якого місця завдяки розширеним можливостям сучасних мереж.

- Ширококутність: зростання вимог до швидкості передачі даних призвело до розвитку ширококутних систем передачі, які забезпечують велику пропускну здатність.

- Інтеграція технологій: сучасні системи передачі інформації надають можливість інтеграції різних технологій, таких як бездротові комунікації, хмарні обчислення, інтернет речей та інші.

Ці особливості відображають розвиток сучасних систем передачі інформації та їхнє вплив на швидкість, безпеку, мобільність та інтеграцію технологій в сучасному світі.



Рисунок 1.1 – Види зв'язку

Найбільший розвиток отримали наступні системи та технології:

- кабельні системи зв'язку (КСЗ);
- волоконно-оптичні лінії зв'язку (ВОЛЗ);
- супутникові системи радіозв'язку (ССЗ);
- вузькосмугові і широкосмугові наземні системи електровзв'язку;
- оптичні системи зв'язку відкритого поширення.

У цьому переліку можна виділити групу провідових (КСЗ і ВОЛЗ) і групу безпроводових систем.

Кабельні системи зв'язку – системи з електричними кабелями набули найбільшого поширення в розподільних мережах (наприклад, в системах кабельного телебачення) і системах телекомунікації, однак висока вартість вихідних матеріалів (кольорових і дорогоцінних металів) поряд з відносно невеликою пропускнуою здатністю роблять проблематичною конкурентоспроможність подібних пристроїв в майбутньому. Загальними недоліками кабельних структур є довгий час і вартість будівництва, пов'язаного з земляними або підводними роботами, схильність до впливу природних катаклізмів, актів вандалізму і тероризму.

У **волоконно-оптичних лініях зв'язку** вдається реалізувати всі переваги світла як носія інформації. Такі лінії володіють високою пропускнуою здатністю (швидкість передачі інформації), високою ємністю мережі, несприйнятливі до електромагнітних завад, не піддаються корозії в агресивних середовищах, мають малу масу, такий вид передачі недоступний для підслуховування і перехоплення.

До характерних особливостей **систем зв'язку через штучні супутники Землі (ШСЗ)** відносяться можливості передавати відносно невеликі обсяги інформації на дуже великі відстані і перекривати значні площі.

Наземні бездротові системи відіграють значну роль, успішно конкуруючи з ВОЛЗ і супутниковими мережами, особливо для зв'язку на невеликі відстані. До таких систем відносяться оптичні системи зв'язку відкритого поширення, а також вузькосмугові і широкосмугові системи зв'язку.

Оптичні системи зв'язку відкритого поширення поділяються на інфрачервоні і лазерні. Ці системи дозволяють передавати значні обсяги інформації на малі відстані (сотні і тисячі метрів). Невелика дальність пояснюється втратами в атмосфері через туман, дощ, сніг, смог, град і різні природні і штучні перешкоди. Кращі системи дозволяють передавати цифрові потоки даних зі швидкістю понад 200 Мбіт/с на відстань до 4-5 км при будь-яких погодних умовах, концентруючи сигнал в надзвичайно щільний промінь і застосовуючи автоматичний пошук і юстирування (настроювання) системи, яка утримує промінь світла в апертурі (площі поверхні) приймальні антени.

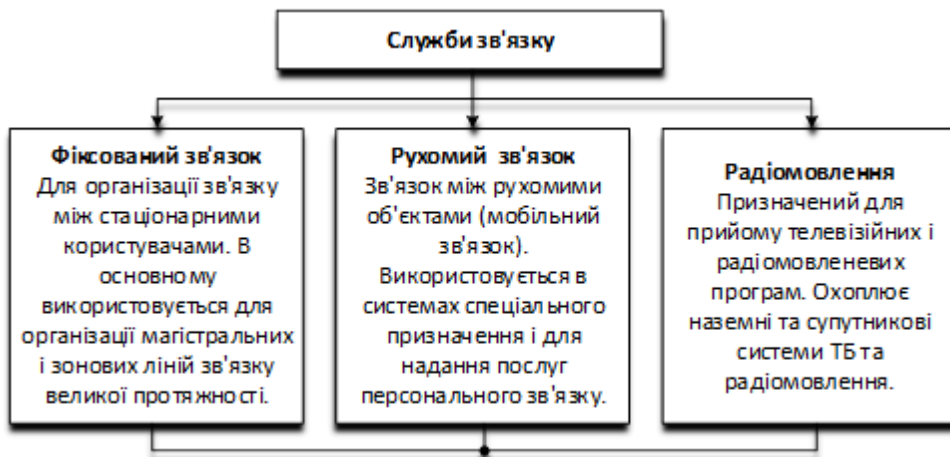


Рисунок 1.2 – Служби зв'язку

В Україні мережі електрозв'язку МЕЗ умовно поділяють на первинну МЕЗ, яка об'єднує лінії зв'язку та системи передачі та вторинну МЕЗ, яка будується на базі первинної.

Первинною мережею називається сукупність направляючих систем, систем передачі, мережних вузлів і мережних станцій, що забезпечує утворення типових каналів і мережних трактів і надання їх вторинним МЕЗ і окремим користувачам. Єдина первинна мережа України побудована ієрархічно. Верхній рівень ієрархії займає магістральна первинна мережа, що з'єднує між собою обласні центри. Наступний рівень – внутрішньозонові первинні мережі, що з'єднують обласний центр із місцевими мережами своєї області. Третій рівень ієрархії складають місцеві первинні мережі – міські і сільські. На такому ж принципі побудовані вторинні мережі.

На базі єдиної первинної мережі створюються окремі вторинні мережі, призначені для організації різних видів зв'язку. Будь-яка мережа, побудована на базі каналів первинної мережі, може бути названа вторинною мережею.

В Україні існують загальнодержавні вторинні мережі: телефонна мережа загального користування (ТфМЗК), абонентського телеграфування (АТ), телеграфна мережа загального користування (ТгЗК), провідного віщання (ПВ) і розподілу програм телевізійного віщання (РПТВ), мережа передачі даних і комутації пакетів (УкрПАК) і стільникова мережа мобільного зв'язку (СММЗ).

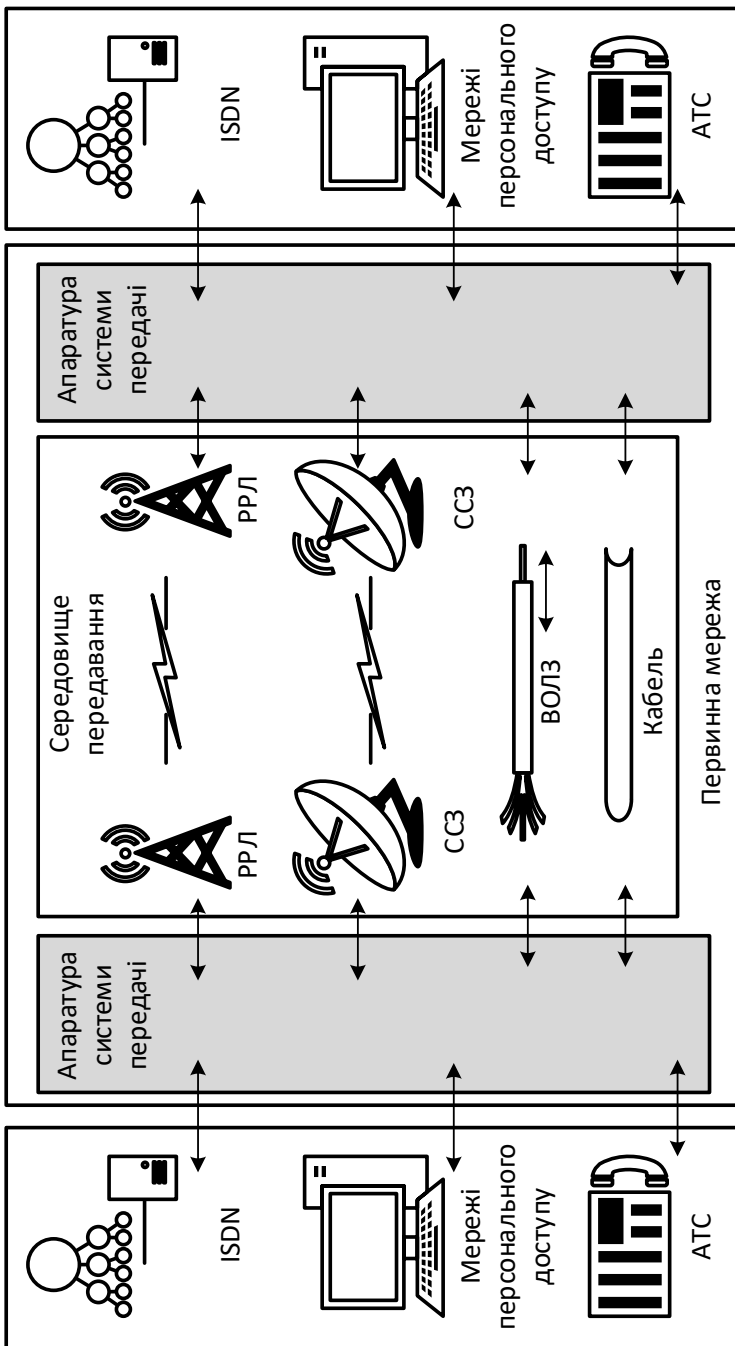


Рисунок 1.3 – Мережі електровз'язку

Радіорелейними системами передачі (РРСП) називають надвисокочастотні радіосистеми, в яких використаний принцип послідовної ретрансляції радіосигналів в межах прямої видимості.

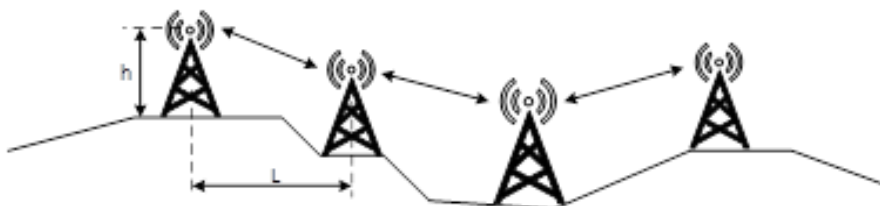


Рисунок 1.4 – Принцип побудови РРСП

На сучасному етапі телекомунікаційна інфраструктура України включає в себе наступні **основні об'єкти**:

- Мобільні оператори з мережами зв'язку.
- Фіксовані оператори зв'язку та їхні мережі.
- Інтернет-провайдери та їхні мережі.
- Супутникові комунікаційні системи.
- Апаратні та програмні засоби телефонної зв'язку.
- Мережеве обладнання, включаючи вузли зв'язку, комутаційне обладнання тощо.
- Кабельні мережі зв'язку, включаючи оптичні мережі передачі даних.
- Мережі передачі даних, включаючи мережі зв'язку для мобільного доступу в Інтернет.

Концепція розвитку телекомунікаційних систем і мереж в Україні спрямована на підвищення доступності, якості, технологічної прогресивності та ефективності цих послуг. Основні напрямки розвитку галузі:

- Забезпечення доступності телекомунікаційних послуг для всіх шарів населення та географічних областей.
- Стимулювання технологічного оновлення і модернізації мереж та інфраструктури.
- Збільшення інвестицій до галузі для створення інноваційних рішень.
- Стратегічні завдання та рекомендації:
- Розробка регуляторного середовища, що сприяє конкуренції та інвестиціям в галузь.
- Впровадження новітніх стандартів та технологій, таких як 5G, для покращення якості послуг та швидкості передачі даних.
- Створення стимулів для розвитку мереж зв'язку в сільських та віддалених районах.

Показники ефективності інформаційних мереж можна оцінити за такими критеріями:

1. Пропускна здатність: визначає швидкість передачі даних через мережу.
2. Затримка: показник часу, який потрібен для передачі даних від точки до точки в мережі.
3. Втрати пакетів: оцінює кількість даних, які втрачаються під час трансляції через мережу.
4. Завантаженість мережі: вказує на те, наскільки мережа використовується за даний час.
5. Надійність: показник стійкості мережі до перешкод, втрати даних або відмов.

Крім того, важливим є оцінка здатності до масштабування та підтримки зростаючого обсягу комунікаційного трафіку. Сукупність цих параметрів визначає продуктивність телекомунікаційних мереж, тобто їх здатність ефективно передавати дані, забезпечуючи швидкість, пропускну здатність та надійність зв'язку між вузлами мережі. Покращення продуктивності телекомунікаційних мереж допомагає забезпечити ефективну та надійну комунікацію між користувачами, підприємствами та іншими суб'єктами в мережі.

Розвиток телекомунікаційних систем та мереж в Україні вимагає комплексного підходу з урахуванням доступності послуг, технологічного прогресу та інвестиційної привабливості галузі. Це вимагатиме спільних зусиль уряду, регуляторів, операторів зв'язку та інвесторів для досягнення успішних результатів у майбутньому.

Органами, які регулюють сферу телекомунікацій в Україні, є:

- Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сфері зв'язку та інформатизації (НКРЗІ).
- Державна служба спеціального зв'язку та захисту інформації України (Держспецзв'язок).
- Міністерство цифрової трансформації України.

На сьогоднішній день чинне законодавство України у сфері телекомунікацій включає такі нормативно-правові акти:

- Закон України «Про телекомунікації».
- Закон України «Про радіочастотний ресурс України».
- Закон України «Про поштовий зв'язок».
- Постанова Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах зв'язку та інформатизації «Про затвердження Правил використання радіочастотного ресурсу України».
- Постанова Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах зв'язку та інформатизації «Про затвердження Типових умов провадження діяльності з надання телекомунікаційних послуг».

Проблеми розробки і впровадження сучасних систем передачі інформації можуть включати наступні аспекти:

– Технічні виклики: розробка систем передачі інформації часто потребує вирішення складних технічних проблем, таких як забезпечення високої швидкості передачі даних, забезпечення безпеки і конфіденційності, а також забезпечення стійкості систем у важких умовах.

– Стандартизація: існує проблема вибору стандартів та протоколів для забезпечення сумісності між різними системами та пристроями.

– Фінансові обмеження: розробка та впровадження сучасних систем може вимагати значних витрат на дослідження, розробку, інфраструктуру та підтримку.

– Стійкість до змін: швидкі технологічні зміни можуть робити сучасні системи застарілими швидко після їх впровадження.

– Впровадження: впровадження нових систем може стикатися з опором з боку користувачів або потребувати зміни бізнес-процесів.

ТЕМА 2 СТРУКТУРА ІНФОРМАЦІЙНОЇ МЕРЕЖІ

Класифікація мереж. Багаторівневі мережі. Ієрархічні та розподілені телекомунікаційні системи. Модель організаційної структури мережі.

Інформаційна мережа – це система, яка складається з вузлів, які з'єднані між собою для обміну даними та інформацією. **Основні елементи**, що становлять структуру інформаційної мережі, включають:

Вузли: Це пристрої, які утримують, генерують або отримують дані в мережі. Це можуть бути комп'ютери, сервери, роутери, принтери та інші мережеві пристрої.

З'єднання: Це фізичні чи бездротові канали для передачі даних між вузлами мережі.

Протоколи: Вони визначають правила, за якими вузли взаємодіють між собою в мережі, включаючи передачу, прийом, аутентифікацію та шифрування даних.

Топологія: Це фізична або логічна структура, за якою вузли підключені один до одного в мережі. Популярні типи топологій включають зірку, шину, кільце та дерево.

Така структура дозволяє ефективно обмінюватися інформацією, забезпечуючи зв'язок та обробку даних у мережі.

Телекомунікаційні мережі можна **класифікувати** за різними критеріями.

1. За масштабно-територіальною ознакою:

– Глобальні мережі (WAN) – надають послуги на міжнародному рівні (наприклад Інтернет).

– Регіональні мережі (MAN) – забезпечують зв'язок у певному регіоні, найчастіше призначені для обслуговування території великого міста-мегаполіса.

– Локальні мережі (LAN) – призначені для зв'язку обмеженої території, це набір пристроїв, з'єднаних разом в одному фізичному місці, наприклад в офісі чи будинку. Локальна мережа може бути малою або великою: від домашньої мережі з одним користувачем до корпоративної мережі з тисячами юзерів і пристроїв в офісі чи школі.

– Персональні мережі (PAN) – це мережа, побудована «навколо» людини. Такі мережі покликані об'єднувати усе персональне електронне обладнання користувача (телефони, КПК, ноутбуки, гарнітури і т. д.).

2. За відомчою приналежністю:

– Мережі операторів зв'язку. Оператор зв'язку – це компанія, яка є власником телекомунікаційної інфраструктури і переймає на себе всі витрати з підтримки мережі – забезпечення її працездатності із заданим рівнем експлуатаційних параметрів і параметрів якості обслуговування. В свою чергу вони поділяються на:

– операторів фіксованого зв'язку – організовують стаціонарні мережі з прокладкою кабелів і розміщенням комунікаційного устаткування в стаціонарних пунктах;

– оператори мобільного зв'язку – забезпечують мережне покриття території шляхом розміщення своїх базових станцій за стільниковою схемою;

– віртуальні оператори. Це компанії, які, не маючи власних мережних ресурсів, частково або оптом викупувають «навантаження» у традиційних операторів і у вигляді пакетів популярних послуг на основі гнучкої тарифної сітки реалізують їх клієнтам під своєю торговою маркою.

– Мережі провайдерів. Діяльність сервіс–провайдерів полягає в організації так званих сервісних вузлів, за допомогою яких реалізовується звернення користувачів до різних мережних служб та інформаційних ресурсів, різних вузлів Інтернету. Заведено розрізняти сервіс–провайдерів різних рівнів: місцевого, регіонального та національного.

– Мережі підприємств та установ. Відмітною особливістю приватних мереж є той факт, що всі ресурси мережі використовуються тільки співробітниками підприємства, яке володіє мережею.

3. За призначенням:

– Транспортна мережа – це сегмент телекомунікаційної мережі з високим ступенем концентрації трафіку, за допомогою якого здійснюється інформаційний обмін між сегментами з більш повільним трафіком і в якому транспортне середовище для передачі будь–якого типу інформації забезпечується використанням єдиних технологічних принципів і встановлених стандартів з надання ширини смуги пропускання.

– Мережа доступу – це сегмент телекомунікаційної мережі, в якому формуються інформаційні потоки, спрямовані в транспортну мережу. Мережі доступу узагальнено поділяються на:

- мережі проводового доступу;
- стаціонарні мережі безпроводового доступу;
- мережі мобільного доступу.

– Розподільчою мережею називають сегмент телекомунікаційної мережі, за допомогою якого концентрований потік, який надходить з транспортної мережі, перерозподіляється та надходить до споживачів. На практиці функції мережі доступу та розподільчої мережі часто поєднуються в одному сегменті.

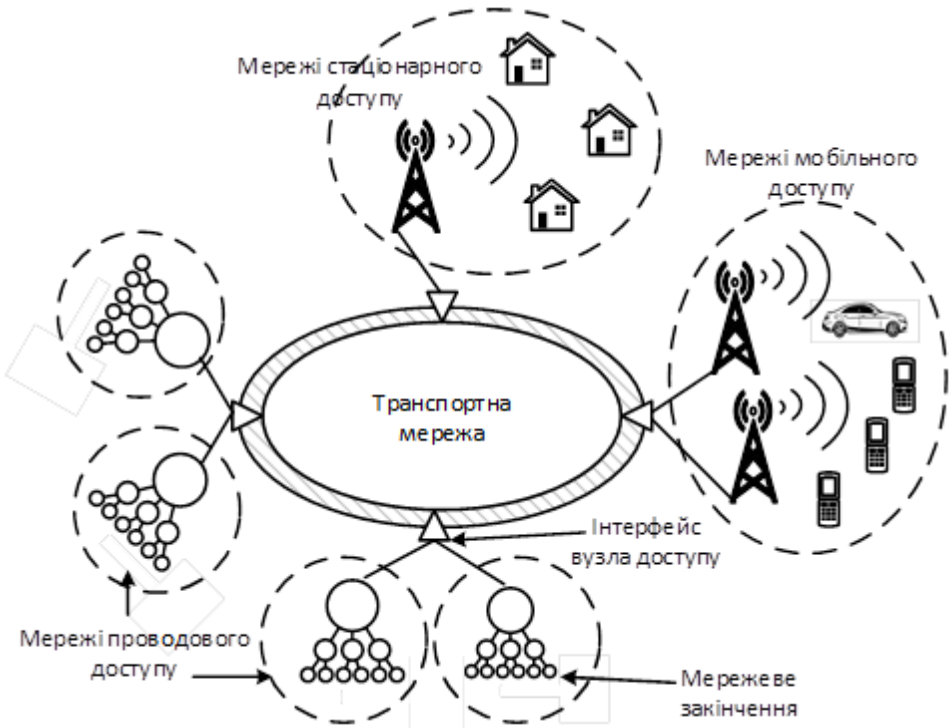


Рисунок 2.1 – Транспортна мережа та мережі доступу

Хоча мережі доступу та транспортні мережі спільно розв’язують завдання реалізації транспортної функції з перенесення інформації із кінця в кінець, проте телекомунікаційні технології, які використовуються в них, істотно відрізняються. Сполучення мереж доступу з транспортною мережею здійснюється у вузлах доступу до транспортної мережі.

4. **За топологією** – існують три базові топології («загальна шина», «кільце», «зірка») та додаткові, що є модифікацією або поєднанням базових, наприклад топологію «дерево» можна розглядати як комбінацію декількох «зірок», такі топології називаються змішаними або гібридними.

– Зіркова топологія: всі вузли підключені до центрального вузла. Таким чином реалізується просте підключення та керування вузлами, але в разі відмови центрального вузла може виникнути збій мережі.

– Кільцева топологія: кожен вузол підключений до двох інших вузлів у формі кільця. Це забезпечує децентралізований механізм передачі даних, але в разі відмови одного вузла може виникнути збій в усій мережі.

– Лінійна топологія: вузли підключені послідовно один до одного.

– Топологія шина: цій топології кожен вузол підключений до загальної шини або каналу передачі даних. Вузли спільно використовують цю шину для передачі інформації. Така схема проста в реалізації, проте проблеми збоїв можуть виникнути під час виникнення перевантажень мережі. даних.

– Повнозв'язна топологія: В цій топології кожен вузол з'єднаний з кожним іншим вузлом у мережі. Це забезпечує надійність та широку пропускну здатність, але вимагає значних ресурсів на підтримку з'єднань.

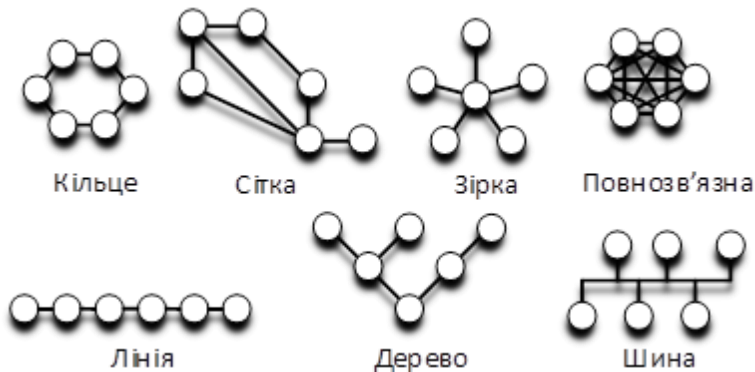


Рисунок 2.2 – Топології мереж

Топологія мережі визначає не тільки фізичне розташування вузлів мережі, але, що набагато важливіше, характер зв'язків між ними, особливості поширення сигналів мережею. Саме характер зв'язків визначає ступінь відмовостійкості мережі, необхідну складність мережної апаратури, найбільш підходящий метод керування обміном, можливі типи середовищ передачі (каналів зв'язку), припустимий розмір мережі (довжина ліній зв'язку й кількість абонентів), необхідність електричного узгодження й багато чого іншого.

Слід зазначити також, що єдиної загальноприйнятої класифікації саме телекомунікаційних технологій не існує. Однак на основі досвіду їх використання можна додатково запропонувати класифікацію за такими критеріальними ознаками:

- за типом переданого трафіка (забезпечуваного сервісу): передачі даних, передавання звуку, передавання відеозображення, конвергентні;
- за наявністю механізмів забезпечення QoS: без забезпечення якості, з дотриманням параметрів QoS;
- за типом комутації: з комутацією каналів, з комутацією пакетів, з комутацією кадрів;
- за типом доступу до середовища: з монопольним доступом до середовища, з розподіленим доступом (TDMA, FDMA/WDMA, CDMA);
- за типом розташування елементів інфраструктури: наземні, супутникові;
- за кількістю абонентів, що підключаються: точка-точка (unicast), точка-багаточка (Multicast, Broadcast);
- за типом мобільності абонента: фіксованого зв'язку, рухомого зв'язку;
- за характером переданих сигналів: аналогові, цифрові;
- за типом використовуваного фізичного середовища передачі: на металевих лініях, на оптичних лініях, з використанням безпроводового середовища;
- за використовуваною шириною смуги частот: вузькосмугові, широкосмугові;
- по можливості двобічної передачі по одному каналу: симплексні, дуплексні, напівдуплексні;
- за кількістю використовуваних для передачі каналів: послідовні (одноканальні), паралельні (багатоканальні).

Багаторівневі мережі (MLN) – це структурована система обміну даними або обчислювальних ресурсів між кількома окремими рівнями. Кожен рівень представляє собою структуру зв'язків, і за допомогою цих рівнів інформація може переходити від одного вузла до іншого.

На найнижчому рівні можуть розташовуватися пристрої та сенсори, що збирають дані. Наступний рівень може бути відповідальний за обробку цих даних та їх передачу на вищий рівень для подальшої обробки або аналізу. Найвищий рівень може включати рішення на основі цих даних та взаємодію з іншими системами. Одним з прикладів багаторівневої телекомунікаційної мережі є стек протоколів TCP/IP, який використовується в Інтернеті. Цей стек включає в себе різні рівні, такі як фізичний, каналний, мережевий, транспортний, та додатковий рівень забезпечення послуг. Кожен з цих рівнів виконує конкретні завдання, що веде до ефективної передачі даних через мережу.

Такі мережі дозволяють створити більш складні та ефективні системи спілкування та обробки інформації, що є важливим у сучасному світі Інтернету речей, обчислювальних систем та автоматизованих процесів. За способом організації та керування поділяються на ієрархічні та розподілені. У ієрархічній системі важливу роль відіграє централізоване керування, де інформація та функції передаються від одного рівня до іншого, що створює чітку ієрархію. У розподілених системах взаємодія відбувається через розподілені ресурси, де керування та обробка інформації відбувається паралельно на кількох вузлах. Це забезпечує більшу гнучкість, надійність системи та здатність до автономності в роботі.

Ієрархічні телекомунікаційні системи широко використовуються для організації та керування комунікаційними мережами. Ось кілька прикладів ієрархічних телекомунікаційних систем:

– Корпоративна телефонна система: На найнижчому рівні можуть бути окремі відділення з внутрішньою телефонною системою. На наступному рівні є штаб-квартира компанії, підключена до цих відділень через ієрархічну телефонну систему.

– Інтернет-провайдер: Інтернет-провайдер може використовувати ієрархічну структуру для підключення користувачів. Найвищий рівень може включати центральний вузол, до якого підключено декілька регіональних вузлів. Кожен регіональний вузол може мати під собою локальні мережі.

– Мобільна телефонна мережа: У такій системі можна виділити рівні, починаючи від базових станцій, які надають послуги на певній території, через регіональні вузли, і до центральних вузлів, що керують роботою мережі в цілому.

Розподілені телекомунікаційні системи – це системи, які використовують розподілені обчислення для обробки та передачі даних. Ось декілька прикладів таких систем:

– Хмарні обчислення: Google Cloud, Amazon Web Services (AWS), Microsoft Azure – це приклади публічних хмарних платформ, які надають послуги хмарних обчислень та телекомунікацій різним компаніям.

– Віртуальні приватні мережі (VPN): Це системи, що дозволяють підприємствам створювати безпечне з'єднання між віддаленими робочими місцями. Наприклад, Cisco AnyConnect VPN дозволяє створювати захищені з'єднання між пристроями в різних мережах.

– Розподілені системи мережевого зберігання (SAN): Такі системи дозволяють доступ до даних через мережу, дозволяючи багатьом користувачам отримати одночасний доступ до централізованих даних, які зберігаються на віддалених серверах.

Ці системи служать для забезпечення ефективності, безпеки та доступності телекомунікаційних послуг у глобальному масштабі.

Крім того системи зв'язку включають ряд об'єктів, що можна представити у вигляді своєрідної піраміди. (рис. 1.4).



Рисунок 2.3 – Спрощена структура складу системи зв'язку

Фундаментом піраміди служить елементна база, яка містить резистори, котушки індуктивностей, конденсатори, трансформатори, діоди, транзистори, мікросхеми, мікропроцесори, резонансні кола, монолітні фільтри, елементи НВЧ-техніки тощо.

З елементів складають об'єкти другого рівня піраміди – електронні кола (диференційні та інтегруючі ланки, фільтри, формуючі кола, тощо).

Вузли конструктивно і технологічно об'єднуються в складні радіотехнічні кола – каскади, автогенератори, модулятори, демодулятори, перетворювачі частоти, підсилювачі надвисоких, високих, проміжних і низьких частот і т.д.

Наступний рівень – блоки, до яких відносять антенно-фідерний тракт, малощумні НВЧ-підсилювачі приймачів, каскади підсилення потужності високочастотних і НВЧ-коливачів, кодек, модем, лінійний тракт приймача, пристрій цифрової обробки сигналу, систему управління і ін.

Найбільш складний рівень піраміди включає функціонально закінчені пристрої – приймачі, передавачі і іншу аналогічну радіоапаратуру, які працюють самостійно в складі різних радіосистем.

Вершиною піраміди є система зв'язку.

Організаційна структура мережі зв'язку визначає рольове призначення (права та обов'язки) й статус (рівень їх значимості) мережевих елементів та утворених ними структурних компонентів залежно від поставленого завдання та займаного місця в мережі.

Елементами моделі організаційної структури є пункти та лінії зв'язку.

Пункти мережі підрозділяються на кінцеві і вузлові.

Кінцеві пункти (КП) – це пункти, в яких розміщено термінальне обладнання користувачів і кінцеві системи мережі (сервери, на яких зосереджено інформаційні ресурси й застосунки, у тому числі застосунки системи керування мережею).

Пункти, призначені для розміщення термінального обладнання користувачів, яке забезпечує доступ в мережу, називаються абонентськими пунктами (АП). Пункти, у яких зосереджено інформаційні ресурси, називаються інформаційними центрами (ІЦ), а пункти системи керування відповідно – центрами керування (ЦК).

Вузловий пункт – це пункт мережі, в якому сходяться дві і більше ліній зв'язку. У вузловому пункті зазвичай розміщується комунікаційне (мережеве) обладнання, за допомогою якого можуть виконуватися такі функції, як концентрація, мультиплексування, комутація та маршрутизація.

За принципом утворення трактів для передачі інформації мережі діляться на мережі **без вузлів комутації** й **з вузлами комутації**. У першому випадку (рисунок 2.4.а) використовуються постійно діючі тракти між абонентськими пристроями, в такому випадку для мережі з N вузлами потрібно $N(N-1)/2$ ліній.

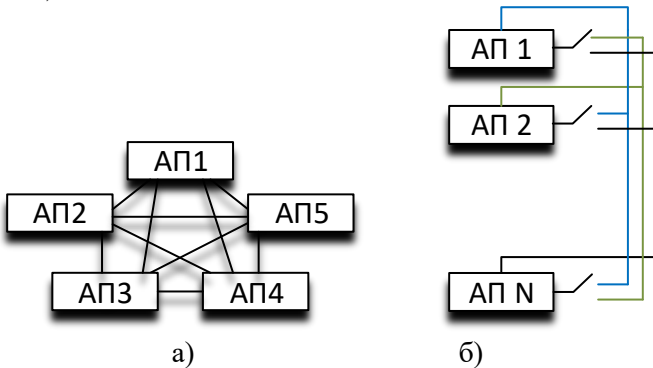


Рисунок 2.4 – Вигляд мережі без вузлів комутації

Зобразимо схему мережі без вузлів комутації, у якій потрібне менше число ліній. Найпростіший спосіб побудови мереж без вузлів комутації полягає в тому, щоб надавати кожному абонентові по одній лінії й організувати доступ інших абонентів до цієї лінії (рисунок 2.4. б). Така побудова мережі зручна для систем, у яких є невелике число АП близько розташованих один до одного, наприклад будинкових телефонних станцій.

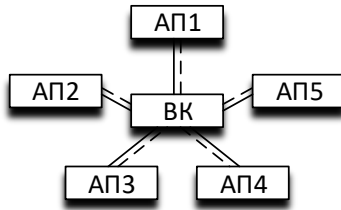


Рисунок 2.5 – Вигляд мережі з вузлом комутації

Мережі з вузлами комутації. У більшості випадків виявляється економічно вигідно з'єднати кожен АП із центральним пунктом, у якому здійснюється комутація (рисунок 2.5). У телефонії такий пункт називається вузлом комутації (ВК), а в телеграфії й інших мережах передачі дискретних повідомлень – центром комутації (ЦК). ВК повинен дистанційно управлятися з АП й це вимагає застосування додаткового каналу для передачі сигналів управління.

Концентрація передбачає поєднання декількох невеликих за потужністю вхідних інформаційних потоків з метою отримання більш потужного вихідного потоку. Функція може бути реалізована в спеціалізованому пристрої на основі статистичного ущільнення (асинхронне мультиплексування). В концентраторі для локальних мереж, який має назву «хаб», ця функція виконується досить умовно. Повідомлення, яке надходить на один з входів хаба, передається одночасно на всі виходи.

Розподілення – функція, протилежна концентрації, тобто відгалуження від концентрованого вхідного інформаційного потоку малих за потужністю вихідних потоків і розподіл їх між виходами. Функція реалізується в пристроях, які називаються відгалужувачі.

Мультиплексування забезпечує можливість передачі декількох потоків інформації однією лінією, що здійснюється закріпленням за кожним із них фіксованої частини ресурсу лінії (смуги пропускання або часу зайняття). Зворотна функція – демультиплексування.

Комутація є процесом встановлення зв'язку між входами та виходами комутаційного пристрою на основі аналізу адресної інформації і використання відповідних таблиць комутації. Комутація може бути оперативною (на час передачі одного повідомлення) та довготривалою, яка здійснюється шляхом кросування ліній, які сходяться у вузловому пункті.

Маршрутизація – це поєднання процедур пошуку зв'язних шляхів (маршрутів) між вузлами мережі з метою формування таблиць маршрутизації та встановлення зв'язку між входами та виходами пристрою на основі адресної інформації повідомлень та з урахуванням вибору найкращого (за обраним критерієм) маршруту проходження повідомлення мережею.

У комунікаційному пристрої може бути реалізована одна з перерахованих функцій, тоді його відповідно називають концентратором, або мультиплексором, або комутатором, або маршрутизатором та ін.

Порядок співвідношення між елементами (їх статус) в моделі організаційної структури визначається рівнями їх ієрархії (рисунок 2.6).

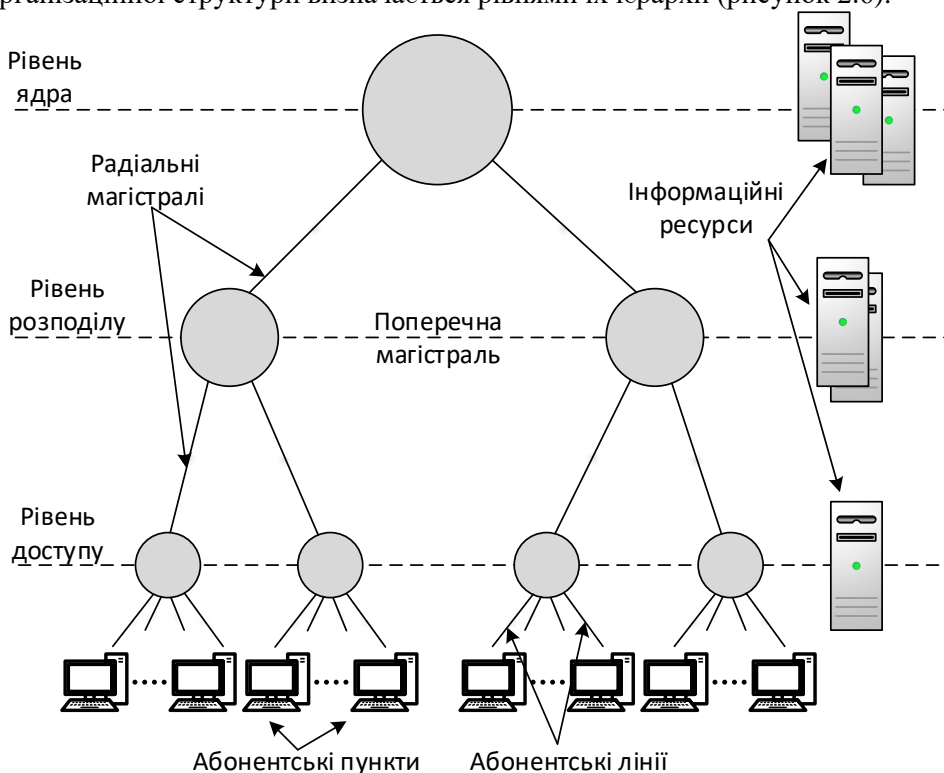


Рисунок 2.6 – Узагальнена схема організаційної структури цифрової мережі

Найнижчий рівень займають АП. Статус вузлових пунктів визначається відповідно рівнем доступу, розподілу та ядра. Лінії зв'язку в моделі організаційної структури також отримують відповідний статус.

Лінії, які з'єднують АП з відповідним вузловим пунктом рівня доступу, мають найнижчий статус і називаються абонентськими лініями.

Лінії, які з'єднують вузлові пункти між собою, називаються магістральними. Чим вищим є рівень ієрархії з'єднуваних магістралями вузлових пунктів, тим вищим – статус самих магістралей, і, відповідно, вимоги до їх пропускнуої здатності, надійності.

Магістралі, що з'єднують вузлові пункти, які належать різним рівням ієрархії, називаються радіальними магістралями, а ті, що з'єднують вузлові пункти одного рівня – поперечними магістралями.

ТЕМА 3 КАНАЛИ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ ТСМ

Характеристики каналів передачі даних телекомунікаційних систем і мереж. Провідні і безпроводні канали зв'язку. Способи комутації в інформаційних мережах. Комутація каналів. Комутація повідомлень. Комутація пакетів. Змішана і інтегральна комутація. Віртуальні з'єднання.

В системах передачі інформації повідомлення, надходять ззовні від джерел і роль системи полягає в тому, щоб передати їх одержувачу.

Інформація – сукупність відомостей про стан будь-якого матеріального об'єкту.

Повідомлення – форма подання інформації для її передачі, зберігання, обробки чи безпосереднього використання.

Для передачі різноманітних повідомлень використовують електричні сигнали.

Сигнали – електромагнітні коливання чи імпульсні послідовності, параметри яких відображають повідомлення, що передаються. Такі сигнали можуть передаватися каналами зв'язку на великі відстані за допомогою щодо простих технічних засобів, причому швидкість їх поширення близька до швидкості світла.

Таким чином, електрозв'язок – передача повідомлень через електричні сигнали.

Каналом зв'язку називається сукупність засобів, які забезпечують передачу повідомлень від джерела до отримувача.

Комплекс технічних засобів, що забезпечують передачу сигналів електрозв'язку називають системою електрозв'язку.

Система передачі – сукупність технічних засобів, які забезпечують формування каналів зв'язку.

Основною частиною практично всіх систем електрозв'язку є канал передачі даних, що складається з передавального і приймального пристрою і лінії зв'язку. Узагальнена структурна схема системи передачі інформації показана на рисунку 3.1.



Рисунок 3.1 – Узагальнена система електрозв'язку

Спрощено передаючим називають пристрій, що перетворює повідомлення в сигнал, що передається, а прийомним – пристрій, що

перетворює прийнятий сигнал в вихідне повідомлення. Важливою частиною каналу системи зв'язку є лінія зв'язку (середовище поширення), яка має суттєвий вплив на достовірність і якість прийнятого повідомлення.

Отже, канал передачі даних у телекомунікаційних системах та мережах – це шлях, за допомогою якого дані передаються від одного пристрою до іншого. Цей канал може бути фізичним (таким як оптоволокно, мідь або бездротові з'єднання) або логічним (віртуальним шляхом через мережу). В свою чергу фізичні канали поділяються на проводові та безпроводові.

До **проводових каналів** належать зокрема волоконно-оптичний кабель – для передачі даних у вигляді світлових сигналів та мідний кабель (включаючи коаксіальний кабель, телефонний кабель тощо) – що використовується для передачі широкосмугових сигналів у кабельних телевізійних мережах та Інтернет-послуг, сюди ж можна віднести кабелі електроживлення.

Безпроводовий канал: це тип передачі даних, при якому використовуються радіохвилі або інші безпроводні технології для передачі сигналів між вузлами мережі, можуть бути організовані по радіорелейним чи супутниковим лініям. Сюди входять:

- Wi-Fi – використовується для безпроводового підключення до Інтернету в домашніх мережах та громадських місцях.

- Bluetooth – використовується для безпроводового підключення пристроїв на короткі відстані, таких як навушники, клавіатури, миші та іншого роду електроніка.

- NFC (Near Field Communication) – технологія для обміну даними на короткій відстані, яка часто використовується для безпроводних платежів та ідентифікації.

- Zigbee – протокол для мереж низької потужності та великої масштабованості, що використовується у різноманітних сферах, включаючи "розумний будинок" та "розумне місто".

- Cellular (мобільний) зв'язок – стандарти, такі як 3G, 4G, та 5G, які використовуються для мобільного Інтернету та телефонного зв'язку.

- Радіо- та супутникове телебачення: Ці технології використовують радіо- чи супутникові хвилі для передачі телевізійних сигналів без проводів.

Канали можуть мати різну пропускну здатність, швидкість та методи доступу, що впливає на швидкість та якість передачі даних.

Основні характеристики каналів передачі даних у телекомунікаційних системах і мережах включають такі показники:

- Затримка: час, необхідний для передачі сигналу від відправника до отримувача. Затримка може бути однорідною або змінюватися в залежності від умов передачі і загалом залежить від відстані передачі, кількість

мережевих пристроїв, через які проходить сигнал, методи обробки сигналів, або через технічні параметри самого каналу зв'язку.

- Пропускна здатність: це максимальна кількість даних, яку може передати канал протягом певного часу, виміряна у бітах за секунду (bps). Пропускна здатність каналу зв'язку залежить від кількох факторів, таких як:

- Ширина смуги пропускання каналу – визначає скільки даних може бути передано через канал за одиницю часу. Чим вища ширина смуги, тим більше даних може бути передано.

- Шум та перешкоди: наявність шуму та інтерференції в каналі може зменшити пропускну здатність, після чого це може призвести до помилок передачі даних та потреб у додатковій корекції помилок.

- Використання протоколів: деякі протоколи передачі даних не дозволяють отримати більшу пропускну здатність через накладені ними надлишкові дані та заголовки.

- Тип з'єднання (провідне чи бездротове) може вплинути на пропускну здатність через обмеження швидкості передачі даних.

- Надійність: міра того, наскільки ефективно канал може передавати дані без помилок чи втрат. На надійність впливає фізичний стан елементів мережі: якість кабелів, антен, обладнання та інфраструктури; електромагнітні перешкоди від приладів та інших пристроїв, що можуть впливати на сигнал; відстань між передавачем та приймачем, а також якість програмного забезпечення, яке керує передачею та прийомом сигналу.

Розподіл потоків повідомлень у каналах зв'язку за заданими адресами здійснюється на вузлах зв'язку за допомогою комутаційних пристроїв. Комутація – процес створення послідовного з'єднання функціональних одиниць для транспортування інформації. В цілому ж завдання розподілу інформаційних потоків виконує система комутації, що складається з власне мережі, комутаційних станцій та вузлів комутації (КК), системи підключення користувачів і кінцевих пунктів – термінальних пристроїв.

За способом розподілу повідомлень мережі зв'язку діляться на **некомутовані і комутовані**. У першому випадку зв'язок між абонентами здійснюють по постійно закріплених каналах за принципом «кожен з кожним», а в другому – абоненти зв'язуються між собою не безпосередньо, а через вузли комутації. Способи комутації в телекомунікаційних мережах включають кілька основних методів:

• **Комутація каналів (Circuit Switching):** У цьому методі створюється постійний фізичний шлях для передачі даних від джерела до приймача, протягом якого часу канал використовується виключно для цієї комунікації. У мережі з комутацією каналів перед передачею даних завжди необхідно виконати процедуру встановлення з'єднання і лише після цього можна починати передавати дані.

Процесу комутації включає визначення, які канали потрібно переключити, після цього обирається шлях (маршрут), яким даний сигнал буде переслатись, відправляється команда на комутацію, після чого комутатор (або інший апарат) виконує перемикання шляху для передачі сигналу до нового каналу. В результаті передачі інформаційного сигналу перевіряється його цільність, щоб забезпечити правильну передачу даних та відбувається підтвердження успішної комутації.

Хорошим прикладом такої мережі є звичайна телефонна мережа. Коли ви набираєте номер для здійснення дзвінка, відбувається комутація каналів, яка забезпечує підключення вашого телефону до телефону одержувача. Коли розмова закінчується, з'єднання знову розривається.

• **Комутація пакетів (Packet Switching):** У цьому методі дані розділяються на пакети, які потім передаються окремо і можуть використовувати різні шляхи для досягнення кінцевого пункту призначення на основі доступності маршрутів та поточного навантаження мережі.

Процес пакетної комутації передачі даних можна описати наступним чином: першим кроком є розділення переданих даних на невеликі фрагменти – пакети, кожен пакет маркується, отримує додаткову інформацію в заголовку, таку як адреса джерела та точки призначення. Пакети передаються через мережеве середовище, при досягненні маршрутизаторів і комутаторів пакети переадресовуються відповідно до інформації в їх заголовках. Пакети, які прибули в точку призначення знову об'єднуються в початковий потік даних.

• **Комутація кадри (Frame Relay Switching):** Цей метод подібний до комутації пакетів, проте використовується для швидкої передачі даних у великих мережах. У цій мережі дані передаються у вигляді кадрів, кожен з яких містить адресу отримувача та іншу контрольну інформацію. Коли кадр надходить до комутатора (switch), він визначає, до якого пристрою адресований цей кадр, і надсилає його лише цільовому пристрою, що зменшує затори та підвищує швидкість мережі.

Повідомлення на відміну пакету має довільну довжину, що визначається не технологічними міркуваннями, а змістом інформації, що становить повідомлення. Техніка комутації повідомлень з'явилася в комп'ютерних мережах раніше техніки комутації пакетів, але потім була витіснена останньою, як ефективнішою за критерієм пропускної спроможності мережі. За такою схемою зазвичай передаються повідомлення, які не потребують негайної відповіді, найчастіше повідомлення електронної пошти. Режим передачі з проміжним зберіганням на диску називається режимом "зберігання та передачі" (store-and-forward). Режим комутації кадри розвантажує мережу для передачі трафіку, який вимагає швидкої відповіді, наприклад, трафіку служби WWW або файлової служби.

Крім того виділяють типи змішаної і інтегральної комутації.

• **Змішана комутація** в телекомунікаціях використовує комбінацію кількох методів комутації, таких як пакетна, канална та пакетно-канална комутація. Це дозволяє оптимізувати використання мережі, забезпечуючи ефективне комутування даних.

• Щодо **інтегральної комутації**, цей термін частіше використовується в контексті комутації мережі АТМ (Asynchronous Transfer Mode). Інтегральна комутація передбачає виділення постійного каналу для передачі даних між двома вузлами та використання пакетів фіксованого розміру (як правило, 53 байти). Це забезпечує низьку затримку та високу якість обслуговування для передачі даних в реальному часі.

Ці методи використовуються в різних сценаріях та мають свої переваги й недоліки, але дозволяють утримувати ефективне функціонування телекомунікаційних мереж.

Як мережі з комутацією пакетів, так і мережі з комутацією каналів можна поділити на два класи: мережі з **динамічною комутацією** та мережі **із постійною комутацією**.

У мережах з **динамічною комутацією**:

- дозволяється встановлювати з'єднання з ініціативи користувача мережі;

- комутація виконується лише тимчасового сеансу зв'язку, що пізніше (з ініціативи одного з користувачів) розривається;

- в загальному випадку, користувач мережі може з'єднатися з будь-яким іншим користувачем мережі;

- час з'єднання між парою користувачів при динамічній комутації становить від кількох секунд до кількох годин і завершується після виконання певної роботи – передачі файлу, перегляду сторінки тексту чи зображення тощо.

Прикладами мереж, що підтримують режим динамічної комутації є телефонні мережі загального користування, локальні мережі, мережі ТСП/ІР.

Мережа, що працює в режимі **постійної комутації**:

- дозволяє парі користувачів замовити з'єднання на тривалий час;

- з'єднання встановлюється не користувачами, а персоналом, який обслуговує мережу;

- період, який встановлюється стала комутація, становить зазвичай кілька місяців;

- режим постійної (permanent) комутації у мережах з комутацією каналів часто називається сервісом виділених (dedicated) чи орендованих (leased) каналів;

- у тому випадку, коли постійне з'єднання через мережу комутаторів встановлюється за допомогою автоматичних процедур, ініційованих обслуговуючим персоналом, часто називають напівпостійним (semi-

permanent) з'єднанням, на відміну від режиму ручного конфігурування кожного комутатора.

Найбільш популярними мережами, що працюють у режимі постійної комутації, сьогодні є мережі технології SDH, на основі яких будуються виділені канали зв'язку з пропускнуою здатністю в кілька гігабіт на секунду.

Деякі типи мереж підтримують обидва режими роботи. Наприклад, мережі X.25 та АТМ можуть надавати користувачеві можливість динамічно зв'язатися з будь-яким іншим користувачем мережі та водночас надсилати дані щодо постійного з'єднання певному абоненту.

Для організації **логічних (віртуальних) каналів** передачі даних використовують різні протоколи, такі як TCP (протокол керування передачею), UDP (протокол датаграми), HTTP (протокол передачі гіпертексту), FTP (протокол передачі файлів), SMTP (протокол передачі електронної пошти) та інші. Кожен із цих протоколів має свої унікальні особливості та призначення, які відповідають різним потребам організаційних каналів передачі даних.

Досить умовно всі існуючі системи електрозв'язку можна розділити на два великі класи: **симплексні і дуплексні системи зв'язку**.

Під симплексним зв'язком розуміють зв'язок між двома пунктами, при якому в кожному з них передача і прийом повідомлень ведуться по черзі на одній частоті. Часто симплексний зв'язок використовують для передачі інформації тільки в одному напрямку, наприклад радіомовлення, телебачення, оповіщення і т.д.

Дуплексний зв'язок – двосторонній зв'язок між двома пунктами, при якому передача і прийом повідомлень здійснюються одночасно на різних несучих частотах.

Різновид симплексного зв'язку – напівдуплексний зв'язок, або двочастотний симплекс, коли система зв'язку забезпечує по чергово передачу і прийом на двох різних несучих частотах з використанням ретрансляторів – пристроїв, що використовуються як проміжний приймально-передавальний пункт лінії зв'язку.

За кількістю використовуваних каналів розрізняють **одноканальні і багатоканальні системи зв'язку**.

Система зв'язку називається багатоканальною, якщо вона забезпечує передачу декількох повідомлень по одному каналу. Основне завдання багатоканальних систем зв'язку – одночасна передача повідомлень від багатьох джерел, тобто збільшення пропускнуої здатності. Підвищення ефективності використання каналу зв'язку досягається застосуванням різних методів ущільнення каналів, за рахунок скорочення надмірності повідомлень і організації так званого багатоканального і множинного доступу абонентів.

ТЕМА 4 УЗАГАЛЬНЕНА СТРУКТУРА АНАЛОГОВИХ ТА ЦИФРОВИХ СИСТЕМ ЗВ'ЯЗКУ

Сигнал і дані. Формування каналних сигналів. Модуляція і кодування. Особливості структурної побудови аналогових і цифрових систем зв'язку.

Носієм інформації в системі зв'язку виступає сигнал, в залежності від вибраного середовища передачі сигнали використовуємо електромагнітні, електричні чи оптичні сигнали, що можна представити у вигляді суми синусоїдних хвиль або одиничних імпульсів. Тоді, в залежності від виду сигналів, що передаються в каналах зв'язку системи поділяються на аналогові, цифрові та аналого-цифрові.

Аналогові канали зв'язку є, в силу історичних причин, є більш розвинутими, особливо на рівні телефонних мереж зв'язку. Аналоговий сигнал є традиційним для використання у радіо-телекомунікаційних системах, системах автоматичного керування тощо, характеризується неперервною зміною своїх значень в часі. Цифровий сигнал — дискретний сигнал з певним значенням інформативного параметра, яке визначається у цифровій формі, тобто послідовність електричних імпульсів квадратної форми із фіксованою довжиною, кожен з яких може займати один із дискретних рівнів амплітуди. Особливим випадком є логічний сигнал або двійковий сигнал, який значення якого змінюється між високим і низьким рівнем сигналу.

Оскільки використання як аналогових так і цифрових сигналів має ряд переваг та недоліків, широко використовується перетворення сигналів з однієї форми в іншу.

Канальні сигнали формуються за допомогою спеціальних сигналів переносників – несучих.

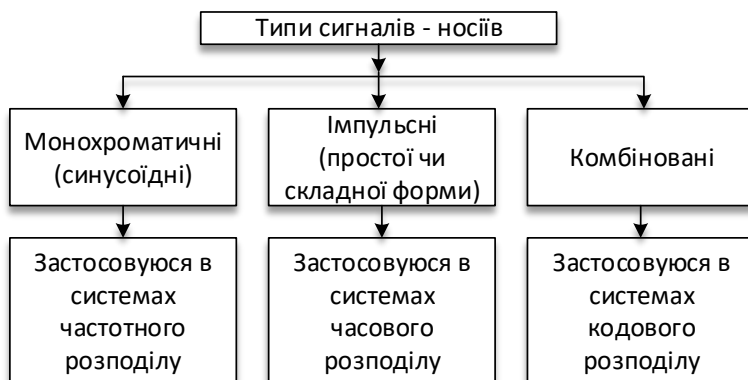


Рисунок 4.1 – Типи несучих сигналів

Сигнал–переносник (сигнал несучої частоти) – допоміжне коливання, що задовольняє умовам лінійної незалежності (в окремому випадку – ортогональності) і перетворюється на каналний сигнал шляхом модуляції його абонентським сигналом.

Як несучий сигнал може використовуватися:

- гармонійне коливання, при цьому модуляція називається аналоговою чи неперервною;
- періодична послідовність імпульсів, при цьому модуляція називається імпульсною модуляцією;
- постійний струм, при цьому модуляція називається шумоподібною.

Якщо за допомогою цифрових чи аналогових даних формується цифровий сигнал, що складається з дискретних прямокутних імпульсів – процес називається кодуванням. Зворотнє перетворення називається відповідно декодуванням. Пристрій, що виконує ці перетворення називається кодек.

Формування аналогових сигналів – це модуляція. На вході системи маємо цифрові чи аналогові дані, за допомогою яких ми повинні змінити параметри нашого аналогового (несучого) сигналу який зручно передавати по середовищу. Зміна параметрів високочастотного несучого сигналу по законах зміни низькочастотних інформаційних даних і називається модуляція, а зворотній процес – демодуляція. Виконує обидва процеси пристрій, що називається модемом.

Основні типи перетворень наведені на рисунку 4.2. Розглянемо їх детально.

		Сигнал	
		Аналогові	Цифрові
Дані	Аналогові	<ul style="list-style-type: none"> •Одинаковий спектр даних та сигналу (телефонія) •Різний спектр (модуляція несучої) AM, FM, PM 	<ul style="list-style-type: none"> •Імпульсно-кодова модуляція (ПКМ)
	Цифрові	<ul style="list-style-type: none"> •Маніпуляція (Shift-keying) ASK, FSK, PSK, QAM 	<ul style="list-style-type: none"> •Кодування

Рисунок 4.2 – Типи перетворень інформації

1. Аналогова модуляція. Модулюємо несучі коливання високої частоти по закону низькочастотного сигналу (наприклад голосу). Низькочастотні сигнали неможливо передати на радіо інтерфейсі, оскільки

величина антени зв'язана з довжиною хвилі повинна бути занадто великою. Залежно від того, який параметр синусоїдального сигналу змінюється під дією інформаційного сигналу, виділяють різні види модуляції: амплітудна, фазова, частотна

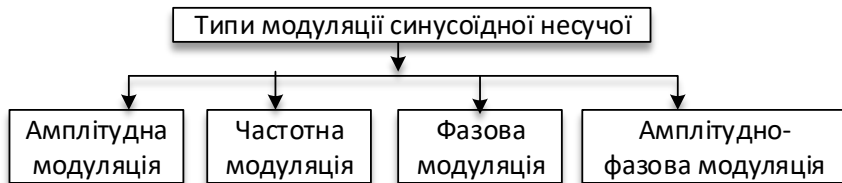


Рисунок 4.3 – Типи модуляції аналогового сигналу

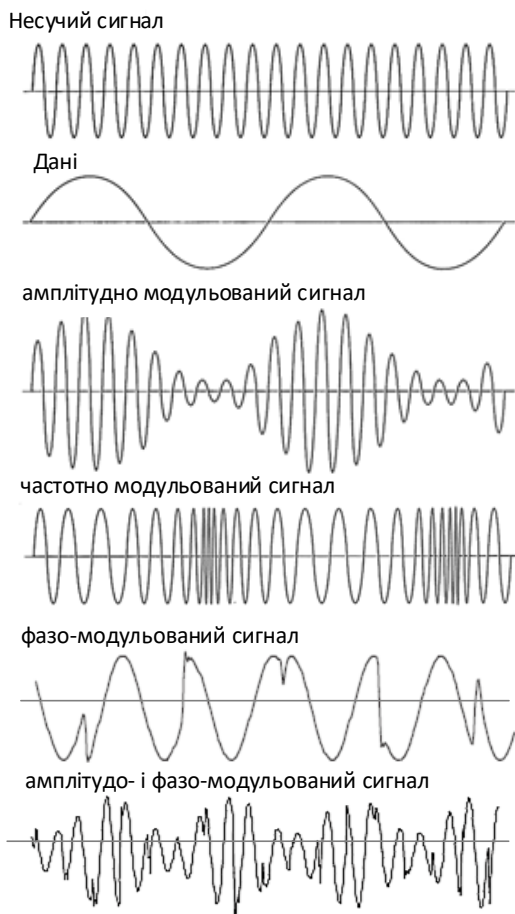


Рисунок 4.4 – Приклади модуляції аналогового сигналу

2. Аналоговий сигнал передає цифрові дані. Перетворення здійснюється модемом і називається маніпуляція (Shift keying) – перетворення цифрових даних для передавання по аналогових системах, безпроводних і оптичних лініях зв'язку. Види маніпуляцій – амплітудна, частотна, фазова, квадратурно-амплітудна (зміна фази і амплітуди сигналу). Особливості кожного методу наступні (рисунок 4.5):

- чмплітудна (ASK) – чутлива до шумів і послаблення, використовується в голосових лініях і оптоволоконні;

- частотна (FSK) – використовується для голосових ліній зв'язку, передавання по коаксіальних кабелях, в ісокочастотних радіосистемах.

Недоліком такого методу є те, що зміна частоти веде за собою розширення спектру, чого намагаються уникнути, щоб не займати лишній частотний ресурс.

- фазова (PSK) – найчастіше використовується в безпроводних системах передачі.

- квадратурно–амплітудна (Ask+PSK – QAM4, -16, -64, -256, -1024) – найширше розповсюджений тип маніпуляції. Одночасна зміна амплітуди і фази сигналу. Підвищує інформативність сигналу і відповідно швидкість передачі даних, проте зростання кількості рівнів фази і амплітуди погіршує можливості розпізнавання окремих сигналів.

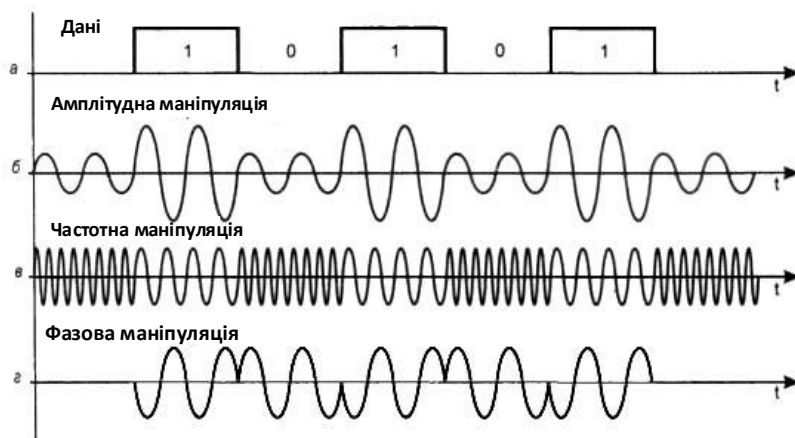


Рисунок 4.5 – Амплітудна, частотна і фазова модуляції дискретного сигналу

3. Перетворення аналогових даних в цифрову форму здійснюється за допомогою модуляції імпульсних послідовностей. Види імпульсної модуляції: амплітудно-імпульсна модуляція (АІМ), відбувається зміна амплітуди імпульсів несучого сигналу; частотно-імпульсна модуляція (ЧІМ), відбувається зміна частоти проходження імпульсів несучого сигналу; фазо-імпульсна модуляція (ФІМ), відбувається зміна фази імпульсів несучого

сигналу; широтно-імпульсна модуляція (ШІМ), відбувається зміна тривалості імпульсів несучого сигналу.

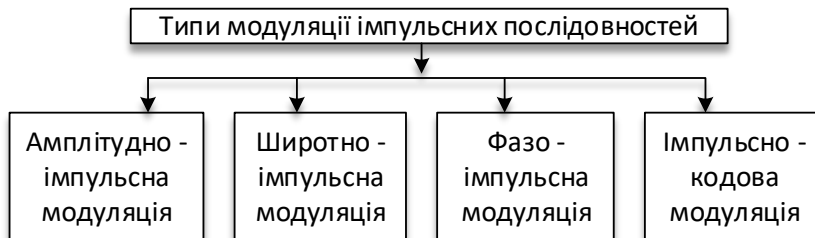


Рисунок 4.6 – Типи модуляції імпульсного сигналу

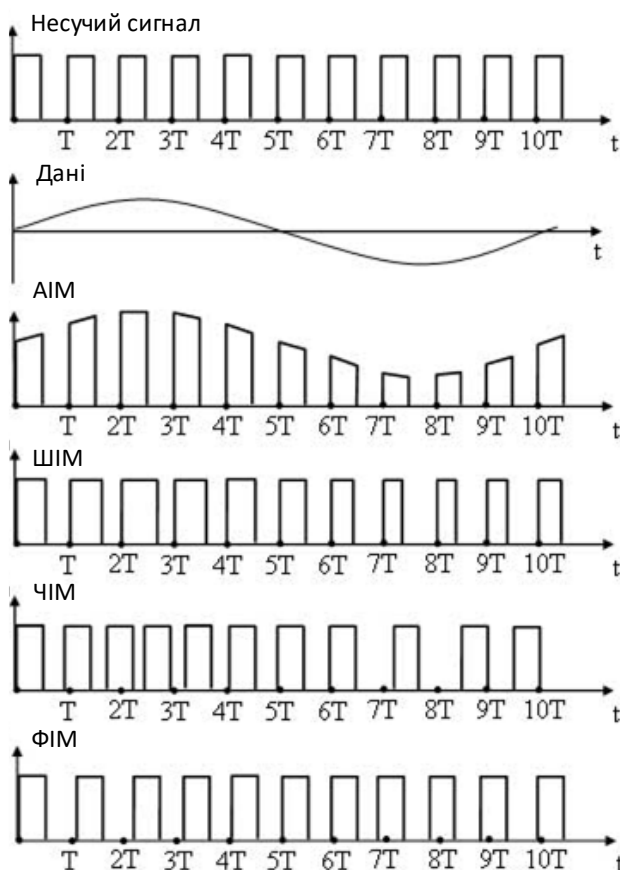


Рисунок 4.7 – Часові діаграми сигналів при імпульсній модуляції

Для усунення міжканальних перешкод необхідні значні захисні інтервали між імпульсами.

Варто наголосити, що передавання сигналів керування завжди здійснюється в цифровій форм, що отримуємо за допомогою імпульсно-кодової модуляції. При ІКМ перетворення аналогового сигналу на цифровий (АЦП) здійснюється послідовно за три етапи – дискретизація в часі, квантування за рівнем, двійкове кодування (рисунок 4.8).

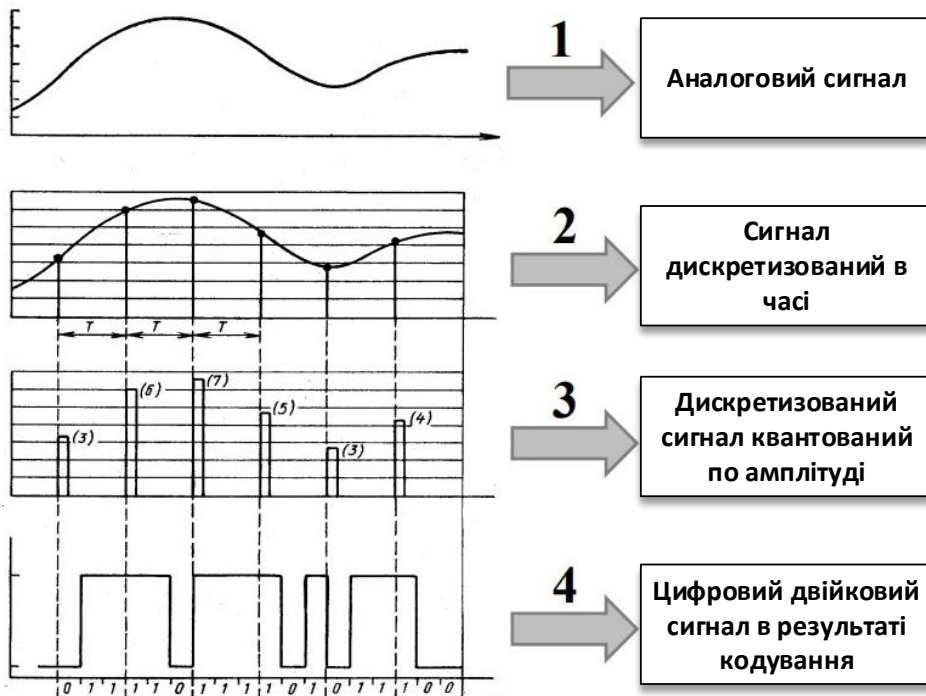


Рисунок 4.8 – Аналогово-цифрове перетворення

Передача імпульсно-модульованих сигналів по височастотних лініях зв'язку неможлива, тому що спектр цих сигналів містить низькочастотні компоненти. Тому, для передачі здійснюють повторну модуляцію. Це модуляція, при якій як модулюючий сигнал використовують імпульсно-модульований сигнал, а як несучий – гармонійне коливання. При повторній модуляції спектр імпульсно-модульованого сигналу переноситься в область несучої частоти. Для повторної модуляції може використовуватися будь-який із видів аналогової модуляції: АМ, НС, ФМ.

4. Кодування сигналу. Інформація в кабельних лініях зв'язку передається в закодованому виді, тобто кожному біту відповідає набір певний рівнів електричних сигналів. Правильний вибір коду дозволяє підвищити достовірність передачі інформації, збільшити швидкість передачі або понизити вимоги до вибору кабелю. Від вибраного коду безпосередньо залежить також складність мережевої апаратури (вузли кодування і декодування коду). Код повинен в ідеалі забезпечувати хорошу синхронізацію прийому, низький рівень помилок, роботу з будь-якою довжиною інформаційних послідовностей.

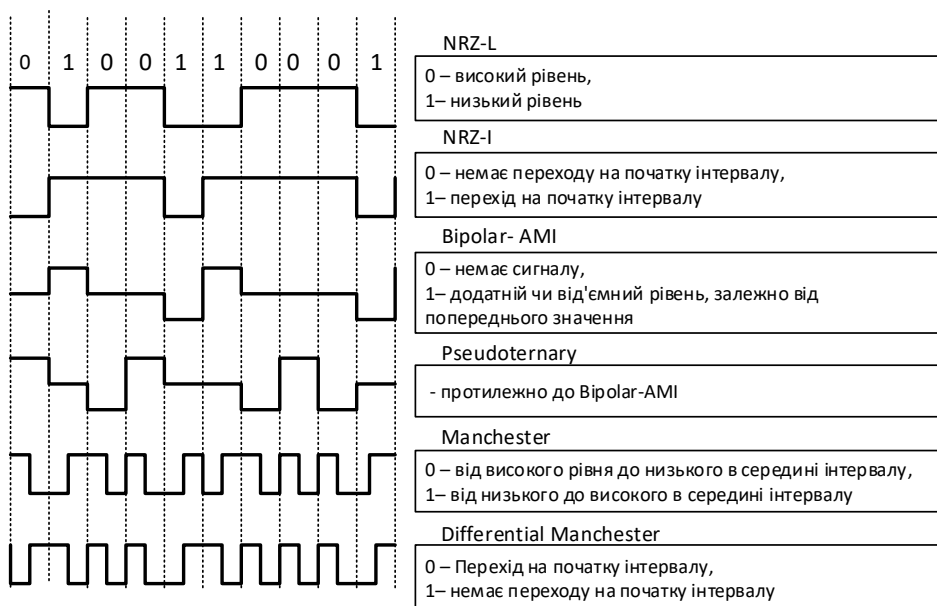


Рисунок 4.9 – Кодування даних

Відповідно типу переданої інформації формується структура аналогових та цифрових каналів зв'язку.

Спрощена **структурна схема аналогового радіоканалу** з амплітудною модуляцією несучого коливання представлена на рисунку 4.10.

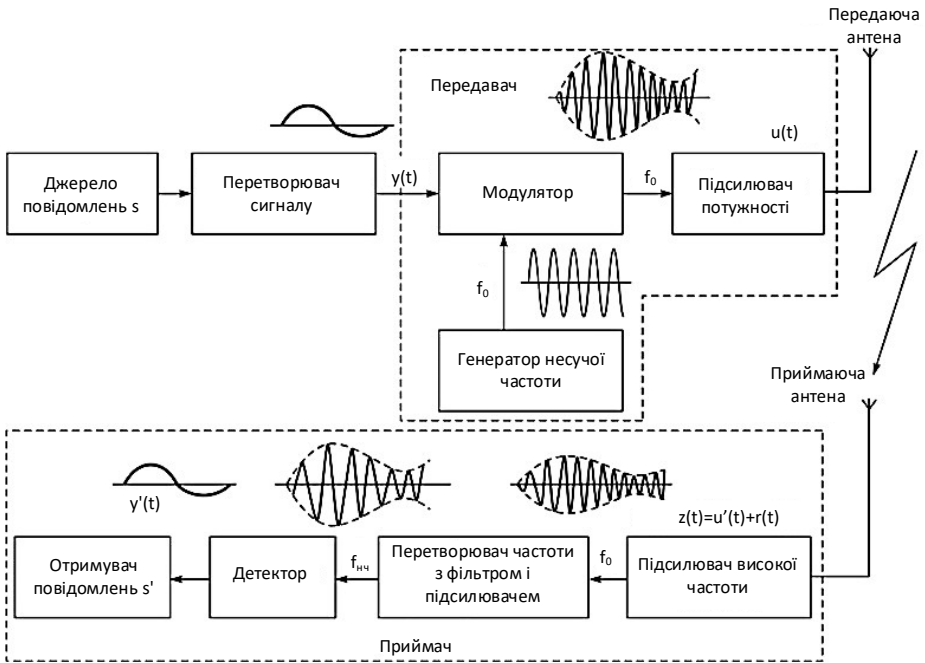


Рисунок 4.10 – Спрощена структурна схема каналу аналогової системи електров'язку

Одним з важливих ланок будь-якої системи зв'язку є джерело повідомлень, який може бути аналоговим або дискретним. Вихід аналогового джерела може мати будь-яке значення з неперервного діапазону амплітуд. Часто вихідне повідомлення не є електричним, може мати будь-яку фізичну природу (зображення, звукове коливання і т.п.), і тому його необхідно перетворити в електричний (первинний) сигнал за допомогою електрофізичного перетворювача сигналу (ЕФПС), простіше – перетворювача сигналу. В ряді випадків такий первинний сигнал безпосередньо передають по лінії зв'язку. Так відбувається, наприклад, в звичайній міській телефонній мережі. Для передачі на великі відстані (за допомогою кабелю, оптичного волокна або радіоканалу) первинний сигнал перетворюють в високочастотний за допомогою модуляції високочастотного несучого коливання. Отже, передавальний пристрій включає в себе крім перетворювача сигналу передавач, що містить модулятор, генератор несучої частоти і підсилювач потужності і передавальну антену у випадку безпроводового радіозв'язку.

Високочастотні сигнали, що вловлюються приймальною антеною, надходять в приймач, структура якого є дзеркальним відображенням структури передавача – сигнал проходить через блоки, які здійснюють

перетворення, зворотні по відношенню до тих, що проводилися в передавачі. Приймальна антена вловлює малу частину енергії, випромінювану передавальною антеною. Тому прийняті антеною модульовані коливання після відфільтрування їх за допомогою селективних (вибіркових) кіл від перешкод і сигналів інших радіостанцій (кола фільтрації на рисунку для спрощення не показані) подаються на підсилювач високої частоти (ПВЧ), який зазвичай є малощумним підсилювачем. ПВЧ, крім підсилення, також селекує (виділяє) корисний сигнал з сукупності багатьох радіосигналів і перешкод, що одночасно надходять на приймальну антену.

Детектор, або демодулятор, здійснює процес зворотний модуляції – виділяє з прийнятого, посиленого і перетвореного високочастотного модульованого коливання корисний сигнал. Головна вимога до детектора – точне відтворення форми сигналу, що передається, щоб він надходив до одержувача неспотвореним. Одержувач повідомлень приймача перетворює низькочастотний електричний сигнал детектора в форму, зручну для одержувача. Як правило, джерело первинних повідомлень і термінал в структурну схему системи електрозв'язку не включають.

До **ознак аналогових каналів зв'язку** відносяться наступні. По-перше, більшість каналів можна вважати лінійними. По-друге, на виході каналу навіть за відсутності корисного сигналу завжди є перешкоди. По-третє, сигнал при передачі по каналу зазнає затримки в часі і загасання за рівнем. І нарешті, в реальному аналоговому каналі завжди мають місце спотворення сигналу, обумовлені недосконалістю характеристик каналу.

Під дискретної системою зв'язку розуміють систему, в якій і передається, і приймається сигнали є послідовностями дискретних символів. Типовим прикладом такої системи є телеграфія, в якій і повідомлення, і сигнал є послідовностями точок, тире і проміжків між ними.

В цифрових системах в яких неперервне повідомлення перетворене в послідовність кодових комбінацій, складених з двійкових символів. При цьому енергія корисного сигналу випромінюється не безупинно, а у вигляді коротких імпульсів. Це дозволяє при тій же загальній енергії випромінювання, що і при неперервному носії, збільшити пікову (максимальну) потужність у відповідному імпульсі і тим самим підвищити стійкість прийому до перешкод.

При використанні цифрового зв'язку сигнали аналогової інформації перетворюються в сигнали цифрової інформації за допомогою **дискретизації, квантування і оцифрування**. Сукупність цих операцій, а також в більшості випадків і скорочення надмірності інформації (стиснення) називається **кодуванням** і виконується сучасною цифровою логічною мікросхемою – **кодером**.

Наступний етап передачі повідомлень – **завадостійке кодування**. Ідея завадостійкого кодування полягає в тому, що до переданому повідомленню

додають надлишкові неінформативні символи. Мета внесення надмірності – зробити так, щоб можливі кодовані повідомлення якомога більше відрізнялись один від одного для забезпечення виправлення на приймальній стороні помилок, що виникли в процесі передачі. Після завадостійкого кодування повідомлення надходить в модулятор. Цифрове повідомлення в модуляторі передавача перетворюють в аналоговий модульований сигнал, який займає задану смугу частот. Для цього несуче коливання модулюють отриманою в кодері імпульсною послідовністю, отримуючи низькочастотні (імпульсні) сигнали – відеоімпульси. Найчастіше в цифрових системах зв'язку використовують імпульсно-кодову модуляцію.

Спрощена структурна схема радіоканалу цифрової системи зв'язку показана на рисунку 4.11.

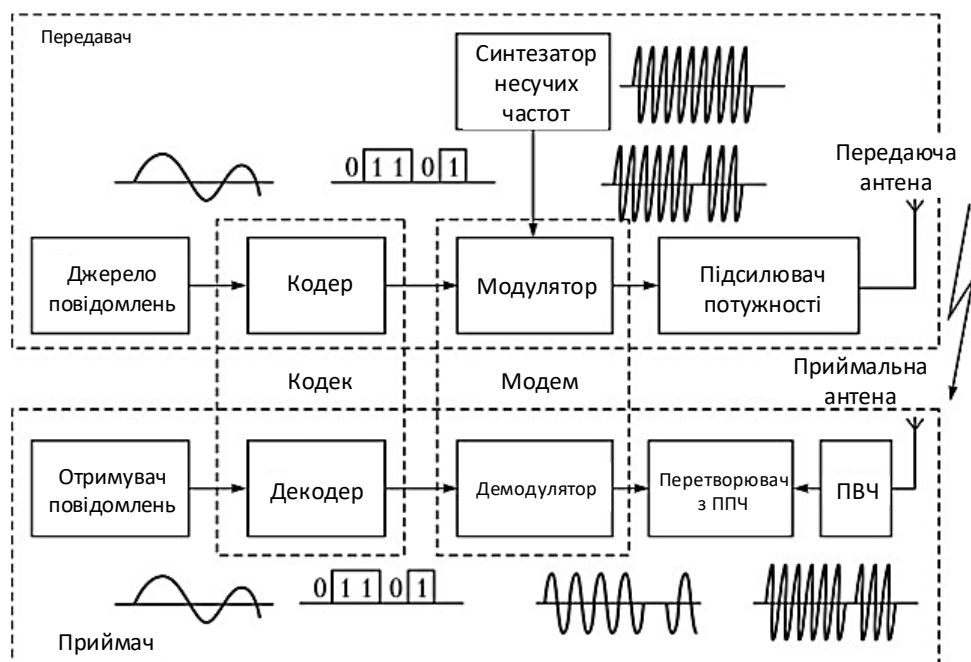


Рисунок 4.11 – Спрощена структурна схема радіоканалу цифрової системи зв'язку

У приймачі після посилення на радіочастоті в ППЧ і перетворення частоти і посилення в блоці «Перетворювач з ППЧ» з сигналу проміжної частоти за допомогою демодулятора витягується і регенерується (відновлюється) послідовність кодових символів. Потім проводиться декодування цих символів в декодері. З виходу декодера відновлений аналоговий сигнал надходить до одержувача повідомлень.

Отже, в цифровій системі передачі інформації перетворення повідомлення в радіосигнал здійснюється трьома операціями: перетворенням, кодуванням і модуляцією.

Між аналоговими і цифровими каналами є велика різниця. Цифрові канали менш схильні до спотворення і інтерференції радіохвиль, ніж аналогові. Оскільки виконавчі цифрові канали дають значущий за потужністю сигнал тільки при роботі в одному з двох станів – включеному або вимкненому, збурення повинно бути достатньо великим, щоб перевести робочу точку каналу з одного стану в інший. Наявність лише двох станів сигналу, що передається при цифровому зв'язку (як правило, це «0» і «1») полегшує його відновлення і, отже, запобігає накопиченню в процесі передачі шумів або інших збурень, оскільки помилка виникає лише тоді, коли сигнал розпізнається неправильно, при спотвореннях, що перевищують певний оптимальний поріг сигналу.

Аналогові сигнали, навпаки, можуть приймати безліч значень. В аналогових системах навіть якзавгодно малий вплив перешкоди на сигнал викликає спотворення модульованого параметра, завжди тягне за собою внесення похибки в передане повідомлення. Тому абсолютно точно відновлення переданого повідомлення в них практично неможливо.

При цифровій обробці сигналів виявилось можливим реалізувати складні алгоритми, які не під силу аналоговій техніці. Перш за все це стосується найважливішого розділу сучасної теорії зв'язку – створення адаптивних зв'язкових систем, що змінюють обробку сигналу при зміні його параметрів.

Крім того, для зручності комутації та обробки цифрові повідомлення можуть групуватися в автономні одиниці, що називаються пакетами. Цифрові технології можуть виконувати функції захисту від інтерференції і придушення сигналу або забезпечувати шифрування і секретність даних.

Проте, цифрові системи вимагають більш інтенсивної обробки, ніж аналогові. Крім того, для цифрових систем необхідно виділення значної частини ресурсів для синхронізації на різних рівнях. Аналогові системи, навпаки, легше синхронізувати. Ще одним недоліком систем цифрового зв'язку є те, що погіршення якості носить пороговий характер. Якщо відношення сигнал/шум падає нижче деякого порога, якість обслуговування може стрибком змінитися від дуже хорошого до дуже поганого.

Особливий вплив на якість прийому сигналів надає точність **синхронізації** переданих і прийнятих сигналів. Розрізняють тактову синхронізацію (визначення кордонів одиничних елементів сигналу), циклову синхронізацію (правильний розподіл кодових комбінацій), синхронізацію несучих частот і ін. Похибки синхронізації переданих і прийнятих сигналів призводять до зниження вірогідності прийому повідомлень, а іноді і до

невірного прийому всього повідомлення або його частини. Найбільш часто в системах передачі інформації застосовують циклову синхронізацію.

Найпростішим методом, що дозволяє на прийомі відокремити одну кодову комбінацію від іншої, є стартстопний режим передачі, коли на початку і кінці кожної кодової комбінації передають спеціальні синхросигнали («старт» і «стоп»). Такий метод передачі відносять до асинхронних, оскільки передача чергової кодової комбінації може починатися в будь-який момент часу після закінчення попередньої комбінації. При синхронних методах передачі кодові елементи сигналу передаються неперервно через однакові проміжки часу. Тоді поділ кодових комбінацій здійснюють за допомогою циклової синхронізації.

ТЕМА 5 БАЗОВІ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ МЕРЕЖ ЗВ'ЯЗКУ

Синхронний і асинхронний режим перенесення інформації. Синхронне часове мультиплексування. Плезіохронна цифрова ієрархія. Технологія ATM.

Поняттям технологія у сфері телекомунікацій позначають спосіб реалізації режиму перенесення інформації в мережі, який забезпечує користувачів певним гарантованим рівнем якості обслуговування.

Термін режим передавання узагальнено розуміють як сукупність методів мультиплексування, передавання та комутації, за допомогою яких у телекомунікаційній мережі уможливорюється транспортування інформації з кінця в кінець, тобто від джерела до одержувача.

Сучасна цифрова первинна мережа може будуватися на основі трьох технологій: плезіохронної ієрархії PDH, синхронної ієрархії SDH та асинхронного режиму передачі ATM.

Для **асинхронного** режиму перенесення достатньо забезпечити синхронне передавання інформації лише між суміжними об'єктами (передавачем і приймачем вузлів, безпосередньо з'єднаних лінією зв'язку). У транзитному вузлі інформаційні блоки зберігаються деякий час у пристрої запам'ятовування, а потім передаються в наступний вузол мережі. При цьому швидкості у вхідному та вихідному каналах вузла можуть відрізнятися. Таким чином, при асинхронному режимі інформація переміщується мережею естафетним способом.

Низька ефективність використання каналів у мережі з комутацією каналів пояснюється тим, що після налаштування з'єднання між кінцевими пристроями ресурс (пропускна здатність) скомутованого каналу та його складових частин на час сеансу зв'язку є недоступним для інших застосунків, навіть у тому випадку, коли дані тимчасово не передаються. Крім того, будь-якій парі термінал-хост надається однакову фіксовану

швидкість, що обмежує можливості мережі для під'єднання хостів і терміналів різної продуктивності.

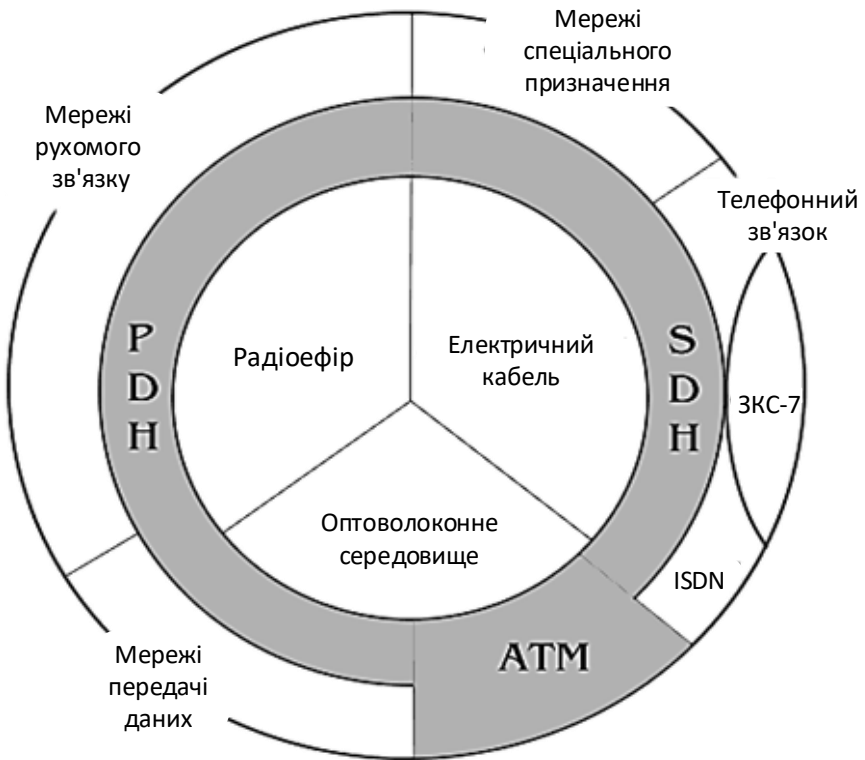


Рисунок 5.1 – Базові технології передавання інформації

Упровадження телекомунікаційної мережі з асинхронним режимом перенесення може усунути ці недоліки шляхом використання так званого естафетного способу передавання повідомлень (або його частин) від вузла до вузла за маршрутом перенесення інформації в мережі. При цьому не потрібно жорсткого закріплення ресурсів ліній зв'язку, через які проходить маршрут. Таким чином працюють мережі з пакетною комутацією.

Синхронний режим перенесення ґрунтується на **принципі синхронного часового мультиплексування та часового розділення каналів** у процесі передавання інформації від одного вузла комутації до іншого. При цьому всі ланки тракту передавання інформації з кінця в кінець працюють синхронно.

Таку синхронізацію забезпечують спеціальні технології, засновані на використанні генераторів тактових сигналів, які працюють від єдиного еталонного джерела в мережі. Технологію описує міжнародний стандарт SDH Synchronous Digital Hierarchy – синхронна цифрова ієрархія (відмітимо, що в США була розроблена ієрархія синхронної оптичної мережі SONET (Synchronous Optical Network, заснована на тих же принципах, що SDH).

Під **мультиплексуванням** у цифрових мережах розуміють поєднання низькошвидкісних цифрових потоків у один високошвидкісний потік. Мультиплексування застосовують з метою більш ефективного використання пропускної здатності лінії зв'язку, що зумовило вживання у термінології понять ущільнення, розподілення лінії зв'язку.

Вихідні цифрові потоки, які формуються в результаті роботи різних мережевих застосунків (від різних служб), можуть істотно відрізнятись за своєю природою. Це передавання постійного бітового потоку; файлів даних; мовленнєвих і відеосигналів в цифровій формі. Мультиплексування забезпечує адаптацію середовища передавання лінії зв'язку до великої кількості різнорідних мережевих додатків.

Часове синхронне мультиплексування (часове ущільнення TDM – Time Division Multiplexing) є найбільш розповсюдженим і застосовується при передаванні інформації в цифровому вигляді. Полягає в тому, що вся смуга середовища поширення сигналів в лінії зв'язку на короткий проміжок часу, тривалістю τ , по чергово надається сигналам n застосунків. Окрім цього, деяка кількість позицій відводиться для ідентифікаційних синхроімпульсів, вставок і цифрового потоку службового зв'язку. Зазначений проміжок часу називають тайм-слотом, інтервал $T_u = nr$, який відповідає n тайм-слотам, називають циклом передавання.

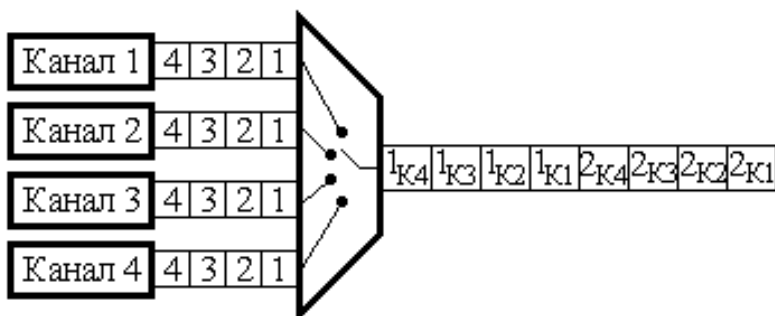


Рисунок 5.2 – Принцип технології SDH

Характерною особливістю синхронного часового мультиплексування є те, що в мультиплексованому сигналі кожному початковому сигналу відповідає тайм-слот із чітко фіксованим порядковим номером у межах циклу передавання T_u , внаслідок цього комутація каналів з часовим розподіленням

є дуже негнучкою процедурою, так як тривалість тайм-слоту однозначно визначає швидкість передавання в каналі зв'язку.

При використанні систем цифрової телефонії для передавання даних на входах мультиплексора присутні вже сформовані потоки двійкових даних, які представлені імпульсними сигналами. Тоді в цьому випадку схема часового мультиплексування практично збігається з аналогічними схемами, що застосовуються в комп'ютерних системах. Будемо вважати, що на входах мультиплексора маємо вхідні двійкові послідовності. Тоді комутатор мультиплексора послідовно відбирає будь-які логічно осмислені послідовності бітів та формує з них загальну вихідну послідовність. Цей процес називають інтерлівінгом (interleaving), або чергуванням.

Розрізняють такі типи інтерлівінгу: біт-інтерлівінг, або чергування бітів – на вихід мультиплексора послідовно комутуються по одному біту від кожного каналу; байт-ітерлівінг; символний та блок-інтерлівінг.

Максимальна швидкість передавання групового (агрегатного) потоку в системах, які знайшли широке впровадження при побудові сучасних систем передавання складає величину близько 2,5 Гбіт/с. Починається практичне втілення систем **SDH** зі швидкістю передавання групового сигналу 10 Гбіт/с (STM–64), яка декілька років вважалася граничною для електронних систем мультиплексування. Проте завдяки розвитку новітніх електронних технологій (напівпровідникові структури на основі арсеніду галію, мікровакуумних елементів) вже створені лабораторні зразки електронних мультиплексорів для швидкості 40 Гбіт/с (STM–256), які підготовлені для серійного промислового виробництва.

Технологія використовує стандартні оптичні й електричні інтерфейси, що забезпечує кращу сумісність обладнання різних фірм – виробників; забезпечує повну сумісність з існуючими системами PDH і, у той же час, дає можливість майбутнього розвитку систем передачі, оскільки забезпечує канали високої пропускної спроможності для передачі ATM, HDTV і т.д.; має значно більше можливостей для управління й діагностики транспортною мережею.

Велика кількість сигналів про несправності, що можуть бути переданими по мережі SDH, дає можливість побудови систем управління на основі TMN (Telecommunication Management Network). Технологія SDH дозволяє керувати як завгодно розгалуженою транспортною мережею з одного центру.

Плезіохронна цифрова ієрархія (PDH) – Технологія PDH була розроблена розроблена для передачі даних на швидкостях від 1,5 Мбіт/с для вирішення проблеми зв'язку великих комутаторів телефонних мереж між собою. Використовується синхронний режим передачі (STM), мультиплексування за часом, імпульсно-кодова модуляція.

Цифрова система передачі, що відповідає першому рівню ієрархії, називається первинною. Такі системи формують первинний цифровий потік E1 або T1. Кілька каналів E1 або T1 можуть бути об'єднані в один канал з більш високою швидкістю передачі, у так званий вторинний цифровий канал. Кілька вторинних каналів, аналогічним образом, можуть бути об'єднані в ще більш високошвидкісний третинний канал і т.д. Так можна сформуванати різні ієрархічні набори швидкостей передачі залежно від кількості цифрових потоків, що подаються на вхід мультиплексора на кожному етапі мультиплексування.

Принцип послідовного мультиплексування каналів наведений на рис. 5.1. Чотири канали E1 мультиплексується в один канал E2, причому на цьому й наступному рівнях ієрархії мультиплексування здійснюється побітно, а не побайтно, як це мало місце у випадку формування потоку E1. Загальна швидкість чотирьох каналів E1 становить 8,192 Мбіт/с, у той час як повна швидкість E2 дорівнює в дійсності 8,448 Мбіт/с, що говорить про наявність у потоці E2 надлишкових бітів, котрі використовуються для передачі службових команд і синхронізації. Потім чотири канали E2 мультиплексується в один канал E3 і т.д.

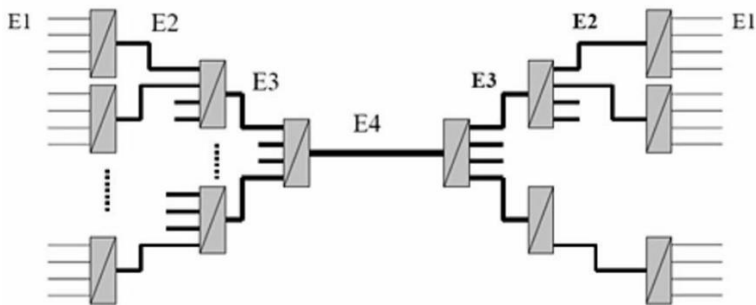
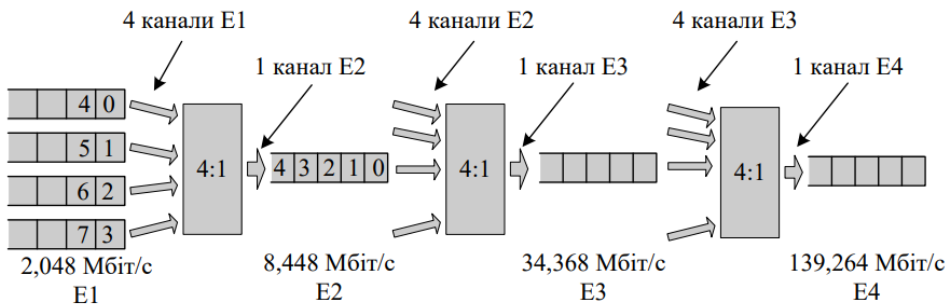


Рисунок 5.3 – Принцип технології PDH

Швидкості цифрових потоків одного й того ж рівня ієрархії, утворені цифровими системами передачі, розташованими на різних вузлах мережі й такими, що мають незалежні джерела синхронізації, можуть трохи відрізнитися в межах припустимої нестабільності частот тактових генераторів. Оскільки ця нестабільність невелика, то поєднувані потоки називають плезіохронними («майже синхронними»), а ієрархію цифрових систем на основі об'єднання плезіохронних потоків називають плезіохронною цифровою ієрархією PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy).

Наявність нестабільності частот задавальних генераторів вимагає застосування процедури узгодження швидкостей цифрових потоків перед їхнім об'єднанням у потік більш високого рівня ієрархії.

Зазначимо, що процедура узгодження швидкостей помітно ускладнює експлуатацію транспортної мережі в цілому й знижує її якісні показники. Для правильного демультимплексування такого цифрового потоку, крім синхронізуючої послідовності бітів, він містить додаткові службові біти, у яких передається інформація про узгодження швидкостей. Одним з основних недоліків є складність операцій мультимплексування й демультимплексування. Другим істотним недоліком технології PDH є відсутність розвинених вбудованих процедур контролю й керування мережею. Службові біти дають мало інформації про стан каналу, не дозволяють її конфігурувати та ін. Немає в технології PDH і процедур підтримки відмовостійкості, що дуже корисні для транспортних мереж, на основі яких будуються відповідні міжміські й міжнародні мережі. Третім недоліком є занадто низькі, за сучасними поняттями, швидкості передачі.

Всі зазначені недоліки усунуті в технології синхронної цифрової ієрархії SDH.

Технологія АТМ (Asynchronous Transfer Mode) є провідною у порівнянні з пакетними технологіями. Дану технологію ще називають асинхронним режимом перенесення, що закріплено рекомендаціями ІТТ-Т. На сьогодні АТМ є єдиною технологією, яка дає змогу повноцінно передавати інтегральний трафік (голос, відео, дані), одночасно задовольняючи абсолютно несумісні вимоги до умов передавання.

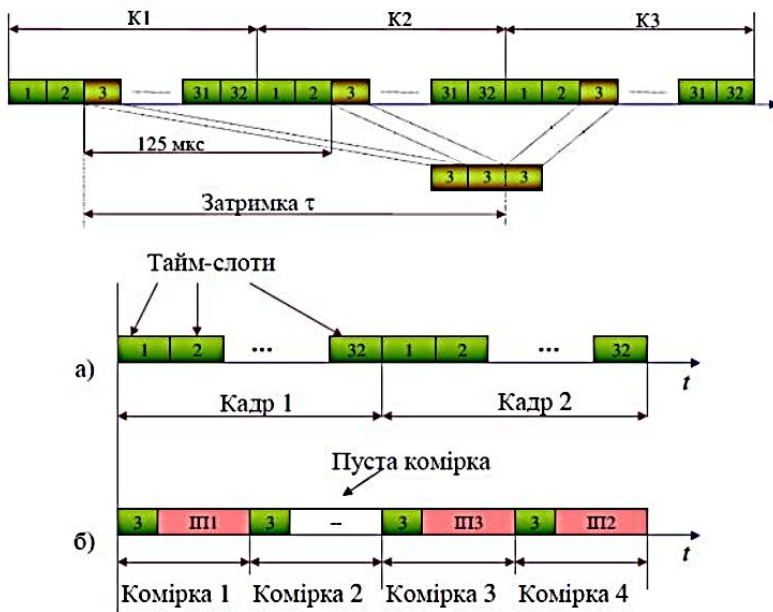
Сутність технології АТМ полягає в транспортуванні всіх видів інформації пакетами фіксованої довжини в 53 байта, з яких 48 байтів визначають розмір інформаційного поля, а 5 байтів відводиться для заголовка. Такий пакет отримав назву комірка (cell).

Комірки передаються без додаткового оформлення в кадр (фрейм), а для їх обробки використовують більш прості протоколи, на відміну від передавання пакетами за протоколом Х.25. Крім того, фіксована довжина й регулярність створюваного ними потоку не вимагають використання прапора між ними для відокремлення однієї комірки від іншої. Комірки фіксованої довжини передаються каналом безперервно.

У тому випадку, коли інформаційні комірки відсутні, каналом передаються порожні комірки стандартної величини, тобто комірки, які не містять даних у полі інформації, що зазначено в заголовку. Порожні комірки необхідно передавати для того, щоб не порушити покоміркову дискретизацію в каналі.

Покоміркова дискретизація нагадує часову дискретизацію в синхронному режимі передавання. Однак, якщо у синхронному режимі тривалість тайм-слоту (часового каналу) залежала від швидкості передавання бітів каналом, то в асинхронному режимі тривалість часу, витрачена для передавання комірки, залежить тільки від кількості бітів, необхідних для її передавання, але не від швидкості. Таким чином, за допомогою комірок здійснюється своєрідна часова дискретизація в каналі, у зв'язку з чим асинхронний режим передавання ще називають **асинхронним часовим мультиплексуванням**.

Відмінність асинхронного часового мультиплексування (АЧМ) від синхронного часового мультиплексування (СЧМ) полягає в тому, що комірки, які належать різним інформаційним повідомленням, можуть слідувати довільно, а тайм-слоти СЧМ для передавання різних повідомлень розташовуються на осі часу (в структурі кадру) в чітко фіксованому порядку відносно початку циклу дискретизації (початок кадру) (рисунок. 5.4)



а) – синхронне мультиплексування; б) – асинхронне мультиплексування ПІ1, ПІ2, ПІ3 – інформаційні повідомлення

Рисунок 5.4 – Принцип асинхронного мультиплексування:

Передавання комірок мережею здійснюється завдяки віртуальному з'єднанню, у зв'язку з чим фазі передавання передуює фаза налаштування віртуального з'єднання, під час якої перевіряється достатність обсягу мережевих ресурсів як для якісного обслуговування вже наявних віртуальних з'єднань, так і для новостворюваного.

Якщо мережевих ресурсів недостатньо, налаштування з'єднання не відбудеться. Таким чином, у мережі АТМ реалізується функція контролю й захисту від перевантажень. Продуктивність комутаторів АТМ досягає 10 Гбіт/с.

Комутатори АТМ є основними пристроями мережі АТМ, основними функціями яких є:

- налаштування віртуального з'єднання між кінцевими пристроями користувачів;
- забезпечення так званого режиму якісного обслуговування (Quality of Service, QoS) для цього з'єднання.

Параметри режиму QoS задають користувачі в заявці на під'єднання в фазі формування віртуального з'єднання. Забезпечення режиму QoS принципово відрізняє технологію АТМ від усіх наявних мережевих технологій. Особливого значення вона набуває в процесі інтегрування даних відео й мовлення, надзвичайно чутливих до затримування під час передавання.

Єдиним протоколом, який забезпечує QoS у комутаторах АТМ, є протокол PNNT Phase 1.0 (Private Network-to-Network Interface). Протокол досить складний, для його роботи потрібно вдесятеро більше процесорного часу, ніж для відомого протоколу визначення найкоротшого шляху (OSPF), який використовується в маршрутизаторах

ТЕМА 6 СИСТЕМИ КОМУТАЦІЇ

Системи з комутацією каналів. Мережа PSTN. Системи з комутацією пакетів. Технологія X.25. Затримки в системах комутації.

Нагадаємо, що мережі зв'язку діляться на **некомутовані і комутовані**. У першому випадку зв'язок між абонентами здійснюють по постійно закріплених каналах за принципом «кожен з кожним», а в другому – абоненти зв'язуються між собою не безпосередньо, а через вузли комутації. Розглянемо детальніше системи комутації.

Мережі з комутацією каналів.

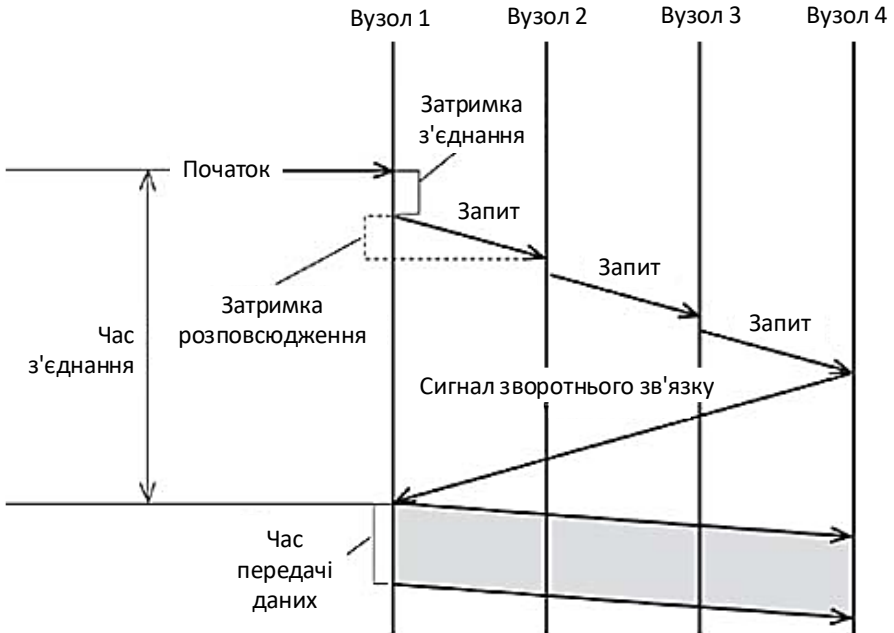


Рисунок 6.1 – Процедура встановлення з'єднання при комутації каналів

Мережа з комутацією каналів (Switching Circuits, SC) – вид телекомунікаційної мережі, у якій між двома вузлами мережі повинне бути встановлене з'єднання (канал), перш ніж вони почнуть будь-який обмін інформацією. Це з'єднання протягом усього сеансу обміну інформацією може використовуватися тільки вказаними двома вузлами. Після завершення обміну з'єднання має бути відповідним чином розірване.

Переваги: висока стабільність параметрів каналу у часі, відсутність необхідності у передачі службової інформації після встановлення з'єднання, комутація каналів може використовуватися як у (аналогових), так і у (цифрових) мережах зв'язку, на відміну від комутації пакетів, яка можлива тільки у цифрових мережах.

Недоліки: комутація каналів вважається недостатньо ефективним способом комутації, тому що канална ємність частково витрачається на підтримання з'єднань, що встановлені, але (в цей час) не використовуються, неможливість застосування апаратури користувачів, яка працює з різною швидкістю, можливість відмови в з'єднанні.

У мережах з комутацією каналів можуть встановлюватися як комутовані, так і виділені з'єднання. **Комутоване з'єднання** – це тимчасове з'єднання, встановлене тільки на період одного сеансу зв'язку. Однак комутоване з'єднання може бути «вічним» – набравши номер віддаленого сервера і встановивши з ним з'єднання, можна не закінчувати сеанс зв'язку як завгодно довго. Комутоване з'єднання дозволяє також у будь-який момент перервати сеанс зв'язку і встановити з'єднання з іншим абонентом. Наприклад, можна перервати з'єднання з одним провайдером Internet і встановити з іншим.

Мережі з динамічною комутацією вимагають попередньої процедури встановлення з'єднання між абонентами. Для цього в мережу передається адреса абонента (який викликається), що проходить через комутатори і налагоджує їх на наступну передачу даних. Запит на встановлення з'єднання маршрутизується від одного комутатора до іншого і зрештою досягає абонента (який викликається). Мережа може відмовити у встановленні з'єднання, якщо ємність необхідного вихідного каналу вже вичерпана. Для fdm-комутатора ємність вихідного каналу дорівнює кількості частотних смуг цього каналу, а для tdm-комутатора кількості тайм-слотів, на які поділяється цикл роботи каналу. Мережа відмовляє в з'єднанні також у тому випадку, якщо запитуваний абонент вже встановив з'єднання з кимсь іншим. У першому випадку говорять, що зайнято комутатор, другому – абонент.

Якщо з'єднання може бути встановлено, то йому виділяється фіксована смуга частот у fdm-мережах або ж фіксована пропускна здатність у tdm-мережах. Ці величини залишаються незмінними протягом всього періоду з'єднання. Гарантована пропускна здатність мережі після встановлення з'єднання є важливою властивістю, необхідною для таких додатків, як передача голосу, зображення чи керування об'єктами в реальному часі. Однак динамічно змінювати пропускну здатність каналу за вимогою абонента мережі з комутацією каналів неможливо, що робить їх неефективними в умовах пульсуючого трафіку.

Пояснимо принцип роботи комутованої телефонної мережі або мережі з комутацією. Ви додзвонюєтеся кому-небудь по телефону, між вами встановлюється якийсь фізичний канал зв'язку, складений з окремих ділянок, які з'єднуються комутаторами. Ділянки від кожного абонента до першого комутатора є неподільні. Тобто кожен використовує ці ділянки одноосібно. Решта ділянок мережі між комутаторами є поділюваними, тобто можуть бути в різний час зайняті різними (користувачами). Але якщо

ділянка зайнята одним користувачем, то інший в цей час вже не може її використовувати.

Мережа PSTN (Public Switched Telephone Network) – комутована телефонна мережа загального користування є традиційною аналоговою телефонною мережею, в якій використовуються звичайні провідні телефонні апарати, міні АТС і обладнання передачі даних. Телефонні мережі складаються з:

- автоматичних телефонних станцій (АТС);
- телефонних апаратів;
- магістральних ліній зв'язку (ліній зв'язку між АТС);
- абонентських ліній (ліній, що з'єднують телефонні апарати з АТС).

Використання PSTN має дві істотні переваги: лінії PSTN є практично скрізь; цей зв'язок недорогий.

Проте в аналоговому вигляді сигнал передається тільки від абонента до АТС і назад. По лініях, що з'єднують АТС міськими, зонними, магістральними каналами повідомлення (в ідеалі) передаються в цифровому вигляді. Після перетворення шляхом імпульсно-кодової модуляції аналоговий сигнал перетворюється на потік бітів з швидкістю передавання 64 кбіт/с і для більш ефективного використання фізичних ліній застосовуються методи частотного ущільнення каналів; цифрові канали і мультиплексування цифрових потоків від множини абонентів. Канал, в якому передається такий потік, отримав назву «Основного цифрового каналу» (ОЦК) або (DS0) за міжнародною класифікацією.

Формування групових цифрових сигналів, призначених для передавання лінією зв'язку, здійснюється методом лінійного кодування. Для цього використовують низку двійкових кодів, основні з яких такі: 1b2b, ADI, AMI, B3Z9, B6Z9, B6ZS, B8ZS, CMI, HDB2, HDB3, mBnB, NRZ, RZ, Miller code.

Комутація пакетів (Packet Switching): У цьому методі дані розділяються на пакети, які потім передаються окремо і можуть використовувати різні шляхи для досягнення кінцевого пункту призначення на основі доступності маршрутів та поточного навантаження мережі.

Процес пакетної комутації передачі даних можна описати наступним чином: першим кроком є розділення переданих даних на невеликі фрагменти – пакети, кожен пакет маркується, отримує додаткову інформацію в заголовку, таку як адреса джерела та точки призначення. Пакети передаються через мережеве середовище, при досягненні маршрутизаторів і комутаторів пакети переадресовуються відповідно до інформації в їх заголовках. Пакети, які прибули в точку призначення знову об'єднуються в початковий потік даних.

Перед відправленням у лінію пакет оформлюються у вигляді фрейму. Фрейм – це сегмент повідомлення із заголовками каналного рівня. Таке

формування прийнято ще називати кадром. Заголовок кадру ЗФ, містить інформацію, яка використовується для ідентифікації адреси порту призначення кадру (фрейму).

Для того, щоб на приймальному кінці лінії зв'язку відокремити один фрейм від іншого у процесі побітового передавання їх каналом, між фреймами вставляються розділові прапори. Прапор (Ф) – це поле, яке містить 8 біт, наприклад, 01111110. На приймальному вузлі прийнята послідовність бітів групується у фреймі, прапори видаляються, а з фрейму витягується пакет. Він розміщується в запам'ятовуючій пристрій (ЗП) вузла та обробляється: перевіряється на відсутність помилок та перекручень. У разі виявлення помилок і неможливості їх виправити, приймальний вузол повторює передавання фрейму.

Вилучений з ЗП пакет відповідно до таблиці адрес, збереженої на вузлі комутації, прямує у вихідну лінію та оформлюється в новий фрейм. Таким естафетним способом сегмент інформаційного повідомлення передається мережею до вузла призначення (вхідного вузла).

На вхідному вузлі пакети накопичуються, з них витягуються сегменти, з яких далі збираються повідомлення. Таким чином, функція розбиття повідомлення на сегменти здійснюється на вихідному вузлі, а збирання – на вхідному.

Незважаючи на те, що лініями зв'язку пакети передаються у вигляді фреймів (кадрів), у проміжних вузлах відбувається комутація саме пакетів. Тому такий метод комутації у вузлах мережі отримав назву комутація пакетів, а мережі, відповідно, – з комутацією пакетів.

Комутація пакетів (КП) має кілька переваг над комутацією каналів (КК)

- ефективність використання ліній при КП є набагато вищою, оскільки ресурси ліній та вузлів мережі можуть динамічно розподілятися між багатьма пакетами від різних застосунків;

- у мережі з комутацією пакетів може здійснюватися перетворення швидкості передавання даних. Це дає змогу обмінюватися повідомленнями абонентських пунктів, під'єднаних до мережі каналами різної пропускної здатності (смуги пропускання);

- користувачам гарантовано під'єднання навіть, якщо мережу перевантажено. При цьому лише можуть виникнути затримки з доставкою пакетів або зменшення швидкості передавання;

- у мережах з КП можна використовувати систему пріоритетів. Пакети з високим пріоритетом доставлятимуться з меншими затримками.

Комутатори пакетної мережі відрізняються від комутаторів каналів тим, що вони мають внутрішню буферну пам'ять для тимчасового зберігання пакетів, якщо вихідний порт комутатора в момент прийняття пакета зайнятий передачею іншого пакета (рисунок 6.2). У цьому випадку пакет

знаходиться деякий час у черзі пакетів у буферній пам'яті вихідного порту, а коли до нього дійде черга, він передається наступному комутатору. Така схема передачі дозволяє згладжувати пульсацію трафіку на магістральних зв'язках між комутаторами і цим найбільш ефективно використовувати їх підвищенню пропускну здатність мережі загалом. Одним із прикладів мережі з пакетною комутацією є Інтернет. У мережі Інтернет дані розбиваються на пакети, які потім передаються через маршрутизатори та комутатори до їхнього пункту призначення. Така пакетна комутація дозволяє ефективно передавати дані через мережу, оптимізуючи використання ресурсів.

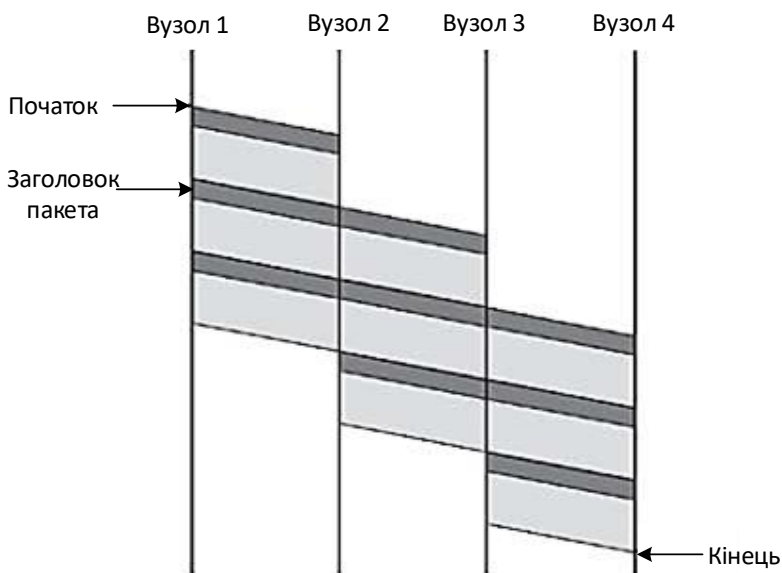


Рисунок 6.2 – Процедура передавання при комутації пакетів

Пакетний комутатор може працювати на основі одного із трьох методів просування пакетів:

1) дейтаграмна передача – це спосіб передачі даних заснований на незалежному просуванні пакетів один відносно одного. Процедура обробки пакета визначається лише значеннями параметрів, які він несе у собі, та поточним станом мережі. І кожен окремий пакет розглядається мережею як абсолютно незалежна одиниця передачі – дейтаграма.

2) передача із встановленням логічного з'єднання. Процедура узгодження двома кінцевими вузлами мережі деяких параметрів процесу обміну пакетами називається встановленням логічного з'єднання. Параметри, про які домовляються два вузли, що взаємодіють, називаються параметрами логічного з'єднання.

3) передача із встановленням віртуального каналу. Віртуальний канал – єдиний заздалегідь прокладений фіксований маршрут, що з'єднує кінцеві вузли мережі з комутацією пакетів, називають віртуальним каналом (virtual circuit чи virtual channel). Віртуальні канали прокладаються для стійких інформаційних потоків. З метою виділення потоку даних із загального трафіку, кожен пакет цього потоку позначається спеціальним видом ознаки — міткою. Так само як у мережах із встановленням логічних з'єднань, прокладка віртуального каналу починається з відправки із вузла-джерела спеціального пакета – запиту на встановлення з'єднання.

Технологія X.25

Міжнародна організація зі стандартизації (ISO) та ІU–Т (International Telecommunication Union – Telecommunication sector – підрозділ Міжнародного союзу електров'язку, що розробляє технічні стандарти з усіх міжнародних питань цифрового та аналогового зв'язку і займається вирішенням технічних та поточних питань, питань, пов'язаних із тарифікацією) уперше затвердили метод передавання й комутації пакетів у вигляді Рекомендацій X.25.

Зазначений метод (протокол) дістав назву технологія X.25. Крім пакету розміром 128 байт, який приймається усталено, допускаються також інші розміри пакету: 16, 32, 256, 512, 1024, 2048, 4096 байт. Крім довжин пакетів, рекомендовано також формати пакетів і кадрів (фреймів), а також протокол їх передавання та приймання.

Технологія X.25 – це технологія передавання даних з комутацією пакетів, яка дає змогу вирішувати проблеми «поганих» каналів зв'язку з великим рівнем перешкод, якими, наприклад, є аналогові телефонні лінії. Для забезпечення необхідної достовірності передавання інформації в технології X.25 упроваджено багаторівневу систему виявлення й коректування помилок. Кожен ВК мережі X.25 на шляху руху пакета перевіряє цілісність пакету, читає контрольну суму, розміщену в заголовку пакету, обчислює її нове значення й порівнює їх.

Якщо кількість помилок є незначною, ВК здатний відновити пакет і передати його далі. При цьому вузол надсилає підтвердження попереднього вузла про коректний прийом пакету. Якщо ж відновити пакет неможливо, робиться запит про його повторне передавання.

Розбиття повідомлення на пакети й складання повідомлення з пакетів в технології X.25 прийнято називати функцією розбиття/збірки (Packet Assembler and Disassembler, PAD). Функція PAD може виконуватися в будьякому мережевому пристрої або вузлі, який забезпечує доступ до мережі X.25.

Метод передавання й комутації пакетів реалізовано не тільки в протоколі X.25, але і, наприклад, у стеку протоколів TCP/IP, який вперше

застосовано також у мережі АКРА29. Надалі АКРА перетворилась в Інтернет.

Загальна характеристика систем комутації наведена в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1

Комутація каналів	Комутація пакетів
Необхідно попередньо встановити з'єднання.	Відсутній етап встановлення з'єднання (дейтаграмний спосіб)
Адреса використовується лише на етапі встановлення з'єднань.	Адреса і службова інформація передається з кожним пакетом
Можлива відмова мережі в обслуговуванні запиту встановлення з'єднання.	Мережа завжди готова прийняти дані від абонента.
Гарантована пропускна спроможність для встановленого з'єднання	Пропускна здатність невідома, затримки мають випадковий характер, тому що затримка у чергах буферів комутаторів мережі залежить від загального завантаження мережі.
Низький та постійний рівень затримки передачі для даних, що чутливі до затримок (називаються також трафіком реального часу) – голос, відео, різну технологічну інформацію.	Ресурси використовуються максимально ефективно при передаванні нерівномірного, пульсуючого трафіку. Проте зростання загального об'єму інформації через необхідність передавання заголовків пакетів
Висока надійність передачі	Можливі втрати даних через переповнення буферів.
Нераціональне використання пропускної спроможності фізичних каналів, особливо для нерівномірного трафіку	Автоматичний динамічний розподіл пропускної спроможності між абонентами відповідно до реальних потреб їх трафіку.

ТЕМА 7 УЩІЛЬНЕННЯ / МНОЖИННИЙ ДОСТУП В ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ І МЕРЕЖАХ

Багатоканальні та багатостанційні системи. Мультиплексування. Формування групового сигналу у системах множинного доступу. Ущільнення з частотним і часовим розділенням сигналів.

Одночасна передача даних кількома абонентами в загальному випадку приведе до колізій (зіткнення), тому частотно–часовий ресурс повинен бути якимось чином розподілений між пристроями. Методи **множинного доступу** (Division Multiple Access) або **мультиплексування** використовуються в системах зв'язку, щоб дозволити кільком користувачам спільно використовувати один канал зв'язку. Більшість сучасних систем радіозв'язку є системами множинного доступу. Це означає, що по одному фізичному каналу можна здійснювати одночасну передачу кількох повідомлень. Для цього формується груповий сигнал $S_{gp}(t)$, який є функцією множини джерел повідомлень $x_i(t)$: $S_{gp}(t) = S\{s_1(t), s_2(t), \dots, s_i(t)\}$

Система передачі з одного пункту до іншого називається багатоканальною, якщо у ній по одному кабелю здійснюється одночасна передача n повідомлень.

Багатостанційним доступом (БД) називається метод, що дозволяє n станціям радіозв'язку (можливо розкиданим на великій території) спільно використовувати ресурси одного ретранслятора.

По суті обидва визначення збігаються; відмінність, що визначає область використання кожного з них, полягає лише в тому, яке середовище передачі сигналів використовується: кабель або ефір. Тому немає нічого дивного в тому, що можливі методи реалізації обох технологій є однаковими.

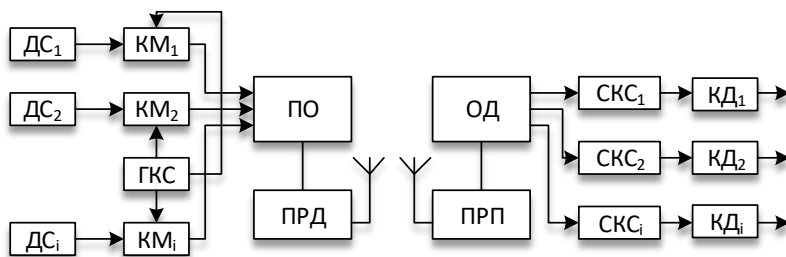


Рисунок 7.1 Система множинного доступу

У багатоканальних системах зв'язку груповий сигнал формується за допомогою спеціального пристрою об'єднання до попадання сигналів у канал поширення.

Повідомлення $x_1(t)$, $x_2(t)$, ..., $x_i(t)$, що формуються різними джерелами сигналів, надходять на каналні модулятори (КМ), які модулюють каналні несучі, що виробляються генератором каналних сигналів (ГКС).

Модульовані каналні сигнали надходять на пристрій об'єднання (ПО), де формується груповий сигнал $S_{gp}(t)$. У передавачі (ПРД) здійснюється модуляція несучої частоти груповим сигналом. У приймальному пристрої (ПРП) після попередньої обробки (фільтрація, посилення і т. п.) проводиться демодуляція прийнятого сигналу та виділення оцінки групового сигналу загалом демодулятора (ОД). Селектори каналних сигналів (СКС) виділяють оцінки каналних сигналів $s'_i(t)$, після чого в каналних детекторах формуються оцінки прийнятих повідомлень $x'_i(t)$.

В системах з множинним доступом всі канали (несучі частоти) або закріплюються за окремими абонентами (коли кількість абонентів $N_{аб}$ не більше числа доступних каналів V_k), або розподіляються і закріплюються за абонентами на час сеансу зв'язку (коли $N_{аб} \gg V_k$). В першому випадку канали жорстко закріплюються за абонентами і не потребують контролю на предмет їх зайнятості, а такі системи називаються **неконтрольованими** і характеризуються низьким навантаженням на канал (близько 0,15 Ерл).

У другому випадку стан каналів постійно контролюється на предмет їх зайнятості – системи називаються **контрольованими**. Навантаження на канал в таких системах за рахунок багаторазового використання каналу значно збільшується і може досягати в годину найбільшого навантаження 0,4...0,8 Ерл. Перевагою контрольованих систем є можливість значного збільшення абонентської ємності при незначному збільшенні робочих каналів із збереженням якості обслуговування і економічного використання частотного спектру. Але в цих системах потрібне введення складних пристроїв контролю за станом навантаження на канал і розподілення каналів між абонентами.

Абоненти багатостанційних систем радіозв'язку можуть вести обмін безпосередньо один з одним або через центральну радіостанцію (ЦРС) з автоматичним розподілом каналів, що надаються абонентам на час зв'язку. Перша система називається **некоординованою**, а друга – **координованою**. Для некоординованої системи для зв'язку (симплексного) потрібна лише одна частота, яка використовується обома абонентами. Перевага: простота реалізації. Недоліки: можливість прослуховування іншими абонентами і великі взаємні завади. Координована система використовує ЦРС, яка забезпечує контроль завантаження частотного діапазону і автоматичне керування розподілом каналів. Недолік: для симплексного зв'язку між двома абонентами потрібно дві частоти. Практично координована система є і контрольованою, а некоординована система – неконтрольованою. В координованих контрольованих системах підвищується ефективність використання частотного простору. Прикладом багатостанційних

координованих контрольованих систем є транкінгові та стільникові системи радіозв'язку.

У багатоканальних системах модульовані канальні сигнали наділяються такими ознаками, щоб у приймальній частині їх можна було розділити. За способом поділу середовища передавання виділяють такі основні групи: розподіл за частотою (FDM), за часом (TDM), з кодовим розділенням (CDMA), з просторовим розділенням (SDMA), множинний доступ з поділом хвилі (WDMA) і їх різновиди.

Метод TDMA – це метод доступу до каналу, який дозволяє кільком користувачам використовувати один і той самий частотний канал, розділяючи сигнал на різні часові інтервали. Це дозволяє кожному користувачеві мати виділений часовий інтервал для передачі та отримання даних, тим самим підвищуючи ефективність і пропускну здатність системи зв'язку.

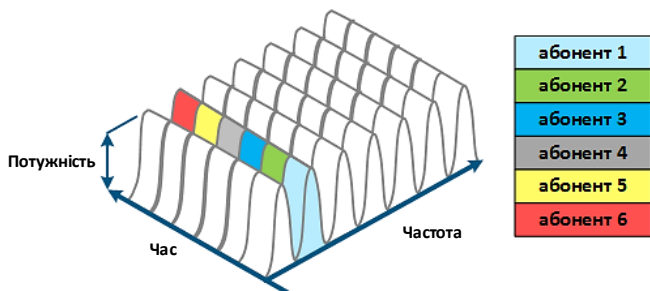


Рисунок 7.2 – Схема роботи TDMA

Перевагою TDMA є його здатність надавати високоякісні послуги голосу та даних. Оскільки кожному користувачеві виділяється окремий часовий інтервал, немає потреби в складних методах обробки сигналів для розділення сигналів різних користувачів. Це призводить до меншої ймовірності помилок і вищої якості обслуговування.

Технологія TDMA також пропонує покращені можливості керування живленням. У системі TDMA передавач і приймач користувача активні лише протягом призначеного їм часового інтервалу. Це означає, що пристрої можна вимкнути протягом решти часових проміжків, зберігаючи час роботи батареї та зменшуючи енергоспоживання. Це особливо корисно для мобільних пристроїв, де час автономної роботи є критичним фактором загальної взаємодії з користувачем.

TDMA знайшла численні застосування в різних системах зв'язку. Одним із найвідоміших застосувань TDMA є Глобальна система мобільного зв'язку (GSM), яка є найпоширенішим стандартом мобільного зв'язку у світі. GSM використовує комбінацію множинного доступу з частотним

поділом каналів (FDMA) і TDMA для надання послуг голосу та даних мільйонам користувачів у всьому світі.

Іншим застосуванням TDMA є бездротові локальні мережі (WLAN), такі як стандарт IEEE 802.11. У цьому контексті TDMA використовується для координації передачі пакетів даних між декількома пристроями, які спільно використовують один бездротовий канал. Це гарантує, що доступна пропускна здатність справедливо розподіляється між пристроями, запобігаючи перевантаженням і покращуючи загальну продуктивність мережі.

TDMA також використовується в системах супутникового зв'язку, де він дає змогу кільком наземним станціям спільно використовувати один супутниковий транспондер. Виділяючи різні часові інтервали для кожної наземної станції, TDMA забезпечує ефективне використання супутникових ресурсів, дозволяючи більшій кількості користувачів обслуговуватися одним супутником.

Ускладнення полягає в тому, що запити на використання окремого комунікаційного каналу з'являються випадково, так що можливі ситуації, коли кількість запитів на часові інтервали перевищує кількість наявних інтервалів. У цьому випадку інформація повинна буферизуватися або записуватися в пам'ять, доки часові інтервали не звільняться для пересилання даних. Буферизація спричиняє затримки в системі.

Висновки:

- TDMA використовується в системах другого покоління (D-AMPS, GSM, PCS);
- множинний доступ до радіоканалів з часовим розподілом каналів фактично є комбінацією часового з частотним розподілом (FDMA/ TDMA);
- один передавач (приймач) базової станції використовується для декількох фізичних каналів (в GSM – для 8);
- в системах радіодоступу з TDMA необхідна система чіткої синхронізації.

FDMA – метод частотного множинного розподілу базується на принципі частотного поділу. Він розділяє частотний спектр одного каналу зв'язку на кілька діапазонів частот. Кожному користувачеві призначається унікальний діапазон частот, який використовується для передачі та отримання даних.

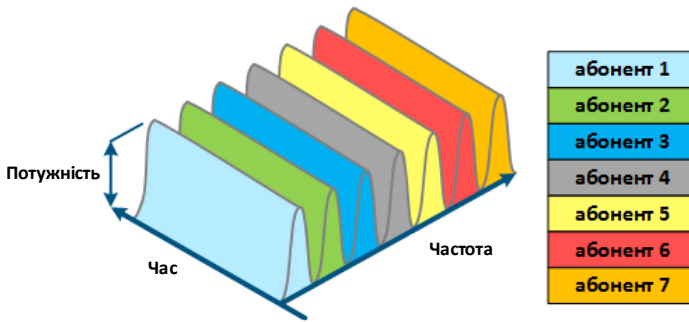


Рисунок 7.3 – Схема роботи FDMA

Перевага FDMA полягає в тому, що він дозволяє кільком користувачам використовувати один і той же канал зв'язку без перешкод. FDMA також пропонує покращену безпеку, оскільки кожному користувачеві призначається унікальний діапазон частот. Ще однією перевагою FDMA є його масштабованість. FDMA можна легко збільшити або зменшити відповідно до змін кількості користувачів або обсягу даних, що передаються. Це робить його ідеальним вибором для додатків, які вимагають частой зміни кількості користувачів або швидкості передачі даних. Нарешті, FDMA відносно легко реалізувати та підтримувати. Для цього не потрібне складне апаратне чи програмне забезпечення, і його можна швидко та легко впровадити.

Складність полягає в тому, що частотний діапазон обмежений і що звичайно існує значно більше потенційних користувачів, ніж наявних частотних щілин. Для ефективного використання комунікаційного каналу система повинна мати можливість управління наявними інтервалами частот. Одні і ті самі частотні інтервали можуть бути незалежно використані різними абонентами, достатньо далеко одна від одної, щоб радіосигнал, який використовує ту ж частоту, достатньо послабився.

FDMA використовується в різноманітних системах зв'язку, включаючи стільникові мережі, системи супутникового зв'язку та бездротові локальні мережі (WLAN). Він також використовується в деяких системах радіочастотної ідентифікації (RFID).

Висновки:

- технологія FDMA використовується в аналогових системах радіозв'язку (першого покоління);
- системи з частотним розподілом каналів більш прості в технічній реалізації, але не забезпечують достатньої конфіденційності інформації;
- недостатньо ефективно використовується смуга частот;
- один приймач/передавач базової станції обслуговує тільки один фізичний індивідуальний канал.

Переваги FDMA і TDMA використані при ортогональному частотному мультиплексуванні **OFDMA**. У системі множинного доступу з ортогональними піднесучими частотний діапазон ділиться на кілька каналів рівної ширини, на часовій шкалі виділяються рівні інтервали часу – таймслоти. Отримана частотно-часова площина схожа з шахматною дошкою. Далі, кожному з абонентів можуть бути виділені окремі комірки, що представляють собою таймслот в одному частотному каналі. У разі наявності безкоштовних ресурсів і великого абонентського трафіку, конкретному абоненту можуть бути виділені кілька частотних каналів в рамках таймслоту.

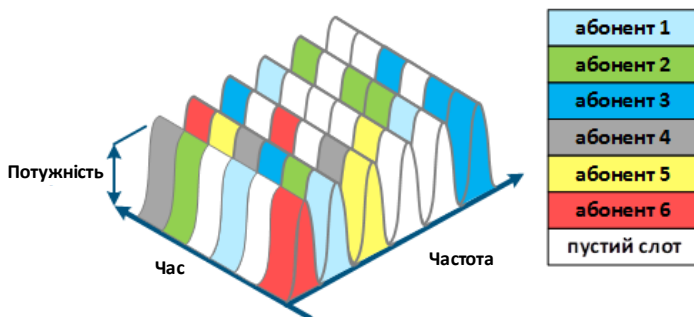


Рисунок 7.4 – Схема роботи OFDMA

Розподіл ресурсів між абонентами організовано через обмін службовою інформацією, який здійснюється у виділеному частотному каналі, або в окремих таймслотах виділеного частотного каналу. Таким чином, кожен з абонентів обмінюється службовою інформацією в призначеному частотному каналі/таймслоті і додатково використовує виділені йому ресурси для обміну користувацькими даними.

SDMA. Окрім частотного і часового ресурсу є просторовий, доступ до якого залежить від характеристик і розташування секторної антени. Таким чином за рахунок просторової селективності антени можна організувати множинний доступ без додаткового рознесення абонентів по частоті або часу (сотвий принцип).

При рознесенні антени необхідно брати в розрахунок те, що їх діаграми спрямованості, включаючи побічне виділення бокових і задніх пелюсток, не повинні пересікатися. На практиці розташування антени буде залежати від характеру використовуваної площадки: при монтажі на мачті антени можуть бути рознесені по вертикалі, при монтажі на будівлі – по різних кутах даху і т.д.

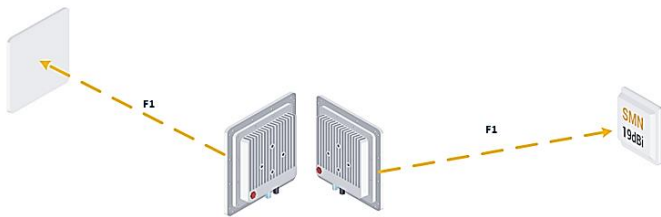


Рисунок 7.5 – Схема роботи SDMA

Множинний доступ з кодовим поділом (Code Division Multiple Access) **CDMA**. У системах з кодовим поділом каналів ізоляція абонентів здійснюється не на фізичному рівні, а за логікою: при передачі даних, замість "0" або "1", передається пряма або інвертована послідовність, закріплена за кожним із абонентів. Подібна маніпуляція розширює спектр вихідного сигналу. На відміну від системи з часовим і частотним розподілом середовища, кожен з абонентів приймає сигнали, адресовані всім абонентам і виділяє з них той, який адресований йому, ґрунтуючись на закріпленій кодовій послідовності.

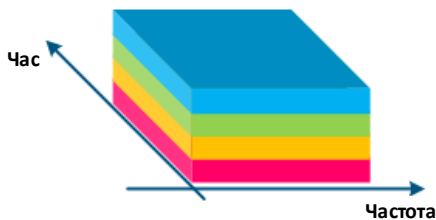


Рисунок 7.6 – Схема роботи CDMA

Всі користувачі можуть пересилати водночас і для кожного наявна повна частотна смуга для пересилання. CDMA не потребує виділення смуги для користувача, ані синхронізації індивідуальних користувачів, як FDMA. Користувач CDMA має повну смугу частот увесь час, однак якість комунікації знижується із зростанням кількості користувачів (зростає коефіцієнт помилковості бітів – BER).

У CDMA кожен користувач: має власний PN-код; використовує ту саму радіочастотну смугу; пересилає незалежно (асинхронно або синхронно). Система PN-кодів повинна мати такі властивості: автокореляцію для доброї синхронізації; низьку кроскореляцію (ортогональні коди) для низького MAI. Придатні коди: коди Голда (Gold codes), коди Kasami (для асинхронного CDMA); коди Гадамара–Волша (Hadamard–Walsh) (для синхронного CDMA).

Кореляція прийнятого розширеного спектру сигналу r_{xb} в основній смузі з PN-послідовністю користувача 1 звужує тільки сигнал користувача

1. Інші користувачі створюють лише шум N_u для користувача 1. Тільки та частина шумів, викликаних іншими користувачами, яка попадає в інформаційну смугу частот $[-R_s, +R_s]$ приймача, може викликати завади для бажаного сигналу. Отже:

– метод кодового розподілення має високу конфіденційність та захищеність від зосереджених по частоті завад;

– серед недоліків – велика складність передавальної і особливо приймальної апаратури, необхідність постійного контролю та регулювання рівнів передачі для зменшення взаємних завад.

Множинний доступ з поділом хвилі (WDM). Цей метод широко використовується в оптичних каналах. У ньому поділ частот здійснюється направленням променя світла з різними частотами (довжинами хвилі). Завдяки цьому пропускна здатність фізичного каналу збільшується в кілька разів, і вже перевищила 1 Тбіт/с. Якщо кожен колір світла має швидкість передачі даних 10 Гбіт/с, то об'єднання чотирьох кольорів в одному і тому ж волокні збільшує загальну швидкість передачі даних у чотири рази до 40 Гбіт/с.

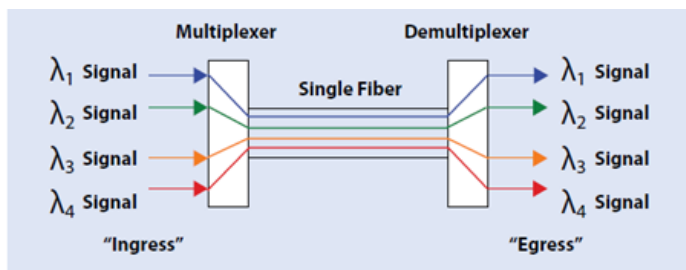


Рисунок 7.7 – Схема роботи WDM

Отже, мультиплексування (Multiplexing) – це метод, за допомогою якого кілька аналогових або цифрових сигналів об'єднуються (ущільнюються) в один сигнал через загальний носій. Прикладом може послужити відео-файл, в якому потік (канал) відео об'єднується з одним або декількома каналами аудіо. Мультиплексування ділить пропускну здатність каналу зв'язку на кілька логічних каналів, по одному для кожного сигналу або переданого потоку даних.

Зворотній процес – демультиплексування, витягує вихідні канали на кінці приймача. Пристрій, який виконує мультиплексування, називається мультиплексором (MUX), а пристрій, який виконує зворотний процес, називається демультимплексором (DEMUX або DMX). Зворотне мультиплексування (IMUX) має протилежну мету ніж мультиплексування, а саме розбити один потік даних на кілька потоків, перенести їх одночасно по декількох каналах зв'язку і відтворити початковий потік даних.

ТЕМА 8 ВУЗЬКОСМУГОВІ ТА ШИРОКОСМУГОВІ СИСТЕМИ

Технології широкосмугового доступу. Переваги широкосмугових систем. Узагальнена структура системи зв'язку з розширенням спектру. Особливості сигналів.

Дуже грубо, всі канали зв'язку можна розділити на два класи – низькошвидкісні (вузькосмугові) та високошвидкісні (широкосмугові) – по відношенню центральної частоти спектру до його ширини. Додатково виділяють ультра широкосмугові «ultra-wideband».

Критерієм широкосмугового сигналу є база сигналу B_s , що визначається як добуток тривалості сигналу T на ширину спектра F .

Для амплітудно-модульованих сигналів, сигналів, що видаються в телефонну лінію модемами, база таких сигналів $B_s \approx 1$. Сигнал вважається широкосмуговим, якщо його $B_s \gg 10$

Вузькосмугові канали дозволяють отримувати інформацію зі швидкостями до 30 – 60 кілобіт на секунду, а широкосмугові – від сотень Кбіт/с і вище.

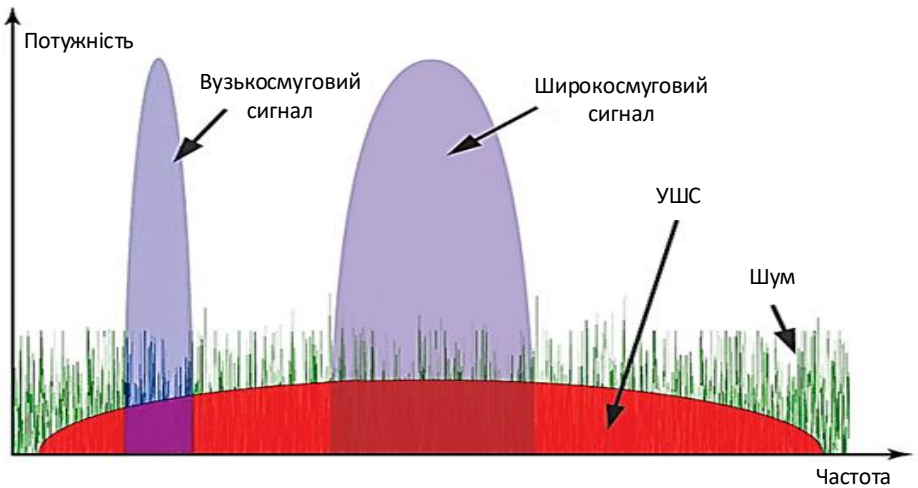


Рисунок 8.1 – Приклад подання потужностей вузькосмугового, широкосмугового та надширокосмугового сигналів

Вузькосмугова система (baseband) використовує цифровий спосіб передачі сигналу. Хоча цифровий сигнал має широкий спектр і теоретично займає нескінченну смугу частот, на практиці ширина спектру сигналу, що передається, визначається частотами його основних гармонік. Саме вони дають основний енергетичний внесок у формування сигналу. У вузькосмуговій системі передача ведеться у вихідній смузі частот, немає переносу спектра сигналу інші частотні області. Саме цьому сенсі система

називається вузькосмуговою. Сигнал займає майже всю смугу пропускання лінії. Для регенерації сигналу та його посилення в мережах передачі використовують спеціальні пристрої – повторювачі (repeater, репітор).

Прикладом реалізації вузькосмугової передачі є локальні мережі та відповідні специфікації IEEE (наприклад, 802.3 або 802.5).

Раніше вузькосмугова передача через загасання сигналів використовувалася на відстанях близько 1-2 км коаксіальними кабелями, але в сучасних системах, завдяки різним видам кодування і мультиплексування сигналів і видам кабельних систем, обмеження відсунуті до 40 і більше кілометрів.

Передача повідомлень у вузько смугових системах здійснюється сигналами з мінімальними основами, тобто добуток ефективної ширини спектра яких на тривалість близько до одиниці. До таких систем належать класичні системи зв'язку з амплітудною, частотною та фазовою дискретною модуляцією.

Термін широкосмугова (broadband) передача спочатку використовувався в системах телефонного зв'язку, де їм позначався аналоговий канал з діапазоном частот (шириною смуги пропускання) більше 4 КГц. З метою економії ресурсів під час передачі великої кількості телефонних сигналів зі смугою частот 0,3-3,4 КГц розробили різні схеми ущільнення (**мультиплексування**) цих сигналів, що забезпечують їх передачу по одному кабелю.

У високошвидкісних мережних додатках широкосмугова передача означає, що для передачі даних використовується не імпульсна, а аналогова несуча. За аналогією термін «широкосмуговий Інтернет» означає, що ви використовуєте канал із пропускну здатністю понад 128 Кбіт/с (у Європі) або 200 Кбіт/с (у США). Широкосмугова система має високу пропускну здатність, забезпечує високошвидкісну передачу даних та мультимедійної інформації (голос, відео, дані). Прикладом є мережі ATM, B-ISDN, Frame Relay, мережі кабельного мовлення CATV.

Широкосмуговий сигнал є процесом, основні параметри якого (амплітуда, фаза і частота) є функціями часу, що швидко змінюються в інтервалі загальної тривалості сигналу. Як широкосмугові можуть бути використані сигнали з виходів шумових або псевдошумових генераторів. До широкосмугових сигналів (ШПС) можна віднести, наприклад, послідовність імпульсів різної полярності.

Системи зв'язку з широкосмуговими сигналами та вузькосмугові системи зв'язку мають однакову завадостійкість щодо широкосмугових (флуктуаційних та імпульсних) перешкод. В певних умовах різниця може виникнути користь широкосмугових систем, оскільки одна й та сама перешкода для вузькосмугової системи зв'язку може виявитися широкосмуговою, а для широкосмугової системи зв'язку – відносно

вузькосмуговою. Щодо зосереджених за спектром (наприклад, синусоїдальних) перешкод широкосмугові системи зв'язку мають більш високу стійкість до перешкод.

Кількість каналів зв'язку, які можуть бути розміщені в тому самому діапазоні частот, для широкосмугових і вузькосмугових систем практично однакова. Причому якщо вузькосмугові сигнали розміщуються так, щоб їх спектри взаємно не перекривалися, широкосмугові сигнали всіх каналів займають один і той же спектр частот. Поділ каналів здійснюється за рахунок відмінності форми широкосмугових сигналів, що передаються за допомогою кореляторів або узгоджених фільтрів.

Системи зв'язку з розширеним спектром

Системи зв'язку називаються системами з розширеним спектром, якщо виконуються такі 3 умови:

1) смуга частот, що використовується, значно ширша, ніж це необхідно для передачі даних або голосу;

2) розширення спектра проводиться за допомогою так званого розширюючого (кодового) сигналу з певними властивостями, який не залежить від інформації, що передається;

3) відновлення вихідного сигналу приймача здійснюється шляхом зіставлення отриманого сигналу з синхронізованою копією кодового сигналу.

Розширення спектру робить систему стійкою до глушіння та перешкод. Інформаційне повідомлення (сигнал) з розширеним спектром зветься широкосмуговим (шумоподібним) сигналом.

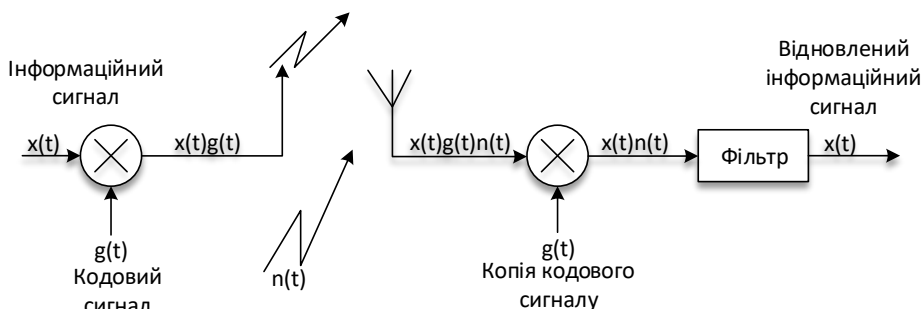


Рисунок 8.2 – Схема системи зв'язку з розширеним спектром

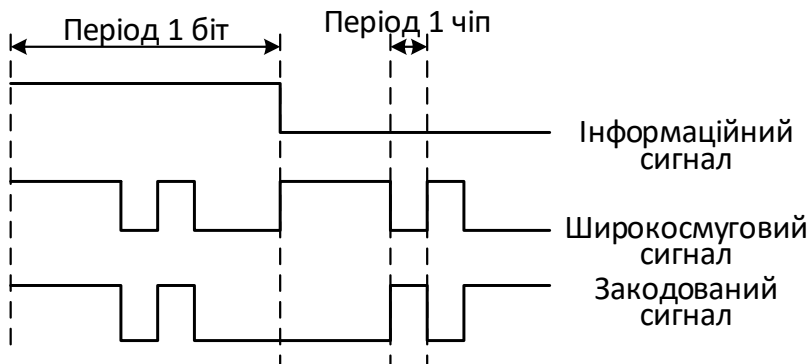


Рисунок 8.3 – Принцип дії системи зв'язку з розширеним спектром

Штучне розширення спектра в подібних системах як правило реалізується одним із 2-х основних способів:

1) метод прямого розширення діапазону, коли інформаційне повідомлення (вихідний вузькосмуговий сигнал) множать на кодовий сигнал, що складається з N елементів (чіпів), тривалість яких в десятки разів менше тривалості переданого інформаційного біта;

2) метод стрибкоподібної перебудови частоти, коли кожен біт інформаційного повідомлення передається за допомогою набору дискретних частот, що задається певною кодовою послідовністю;

Зазначимо важливі особливості в даній схемі, які забезпечують високу завадостійкість у системах зв'язку з розширеним спектром:

1) одноразове множення коду $X(t) * g(t)$ призводить до розширення частотного діапазону сигналу;

2) повторне множення на код і подальше фільтрування відновлює вихідний сигнал;

3) вихідний сигнал множиться на код двічі, тоді як сигнал перешкоди множиться на код лише один раз.

Особливості сигналів систем розширеного спектру:

1) Більша енергетична скритність. Енергетична скритність передачі ШСС полягає у зменшенні дальності його розвідки технічними засобами спостереження противника. Оскільки дальність розвідки пропорційна кореню квадратному з потужності (енергії) сигналу, що випромінюється, а широкопasmовий сигнал можна представити як композицію n вузькосмугових, то при однаковій енергії ШСС і ВСС, та за умови що закон внутрішньоімпульсної модуляції (маніпуляції) ШСС є невідомим для противника, то:

$$\frac{R_{ШСС}}{R_{ВСС}} = \frac{\sqrt{P_C / n}}{\sqrt{P_C}} = \frac{1}{\sqrt{n}}$$

При досить великому n можливо забезпечити передачу сигналу з питомою щільністю енергії меншою ніж питома щільність природних шумів. В цьому випадку розвідка сигналу взагалі можлива лише за умов знання його внутрішньої структури.

2) Параметрична скритність інформаційного обміну. Параметрична скритність інформаційного обміну ШСС забезпечується достатньо складним кодуванням сигналу його елементарними складовими. Навіть при фіксації факту передачі ШСС, для виділення з нього інформації необхідно знати параметри цього кодування.

3) Висока завадостійкість. Завадостійкість, при використанні ШСС, обумовлюється, підсиленням в n разів ШСС на виході узгодженого приймача. Співвідношення сигнал/шум на виході приймача прямопропорційне до бази сигналу (ширини смуги частот).

Сучасні технології Broadband за типом каналу передачі можна розділити на дві великі групи: проводові та безпроводові (рисунок 8.4):

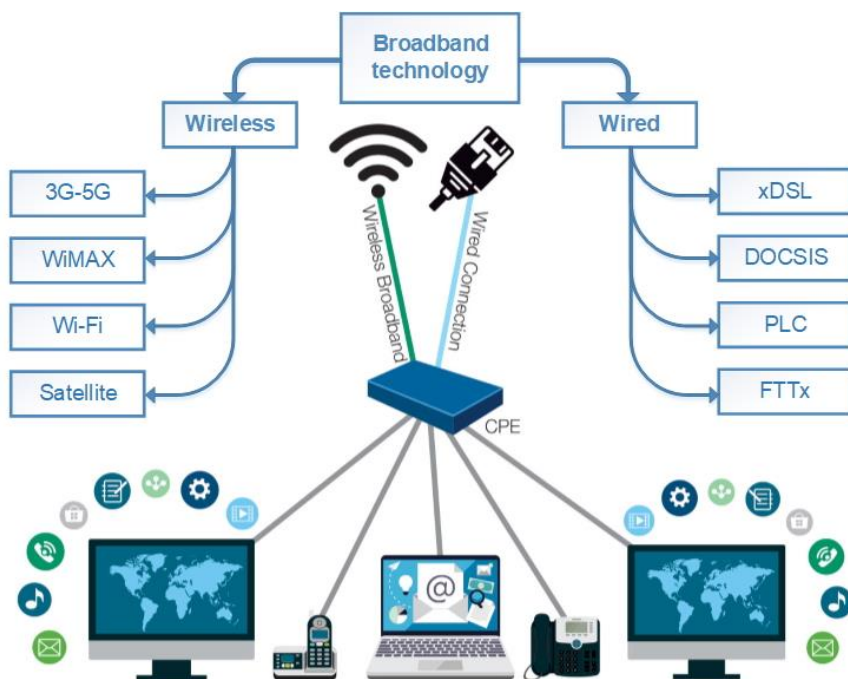


Рисунок 8.4 – Дерево технологій широкосмугового доступу

Проводові (wired)

- xDSL – сімейство стандартів (ADSL, VDSL, G.Fast) передачі даних по парі проводів, кручений парі та коаксіальному кабелю;
- DOCSIS – стандарт передачі даних по мережах кабельного телебачення та коаксіальному кабелю;
- PLC – системи передачі даних по лініях електроживлення змінного або постійних струмів;
- FTTx – системи передачі даних по волоконно–оптичному кабелю.

Бездротові (wireless)

- 3G (HSPA) / 4G (LTE) / 5G – системи стільникового/мобільного зв'язку
- Wi-Fi – сімейство стандартів бездротової локальної мережі далекого радіусу дії;
- WiMAX – сімейство стандартів бездротової локальної мережі далекого радіусу дії;
- Супутникові (satellite) системи зв'язку.

На даний момент бездротові широкосмугові мережі практично знаходяться поза конкуренцією щодо оперативності розгортання, мобільності, ціни та широти можливих додатків.

Переваги БШД:

- Гнучкість архітектури, тобто можливість динамічної зміни топології мережі при підключенні, пересуванні та відключенні мобільних користувачів без значних втрат часу;
- досить висока швидкість передачі інформації (1÷10 Мбіт/с і вище);
- швидкість проектування та розгортання;
- відмова від дорогої і не завжди можливої прокладки чи оренди оптоволоконного чи мідного кабелю.

Стандартизуючим органом для технологій мереж передачі даних є комітет 802 Інституту інженерів з електротехніки та електроніки – IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers). В області бездротових мереж (**Wireless LAN**) найбільш популярними на сьогоднішній день є три технології: IEEE 802.11 Wi-Fi, IEEE 802.15 Bluetooth та IEEE 802.16 WiMAX.

ТЕМА 9 КОНЦЕПЦІЇ МЕРЕЖ НАСТУПНОГО ПОКОЛІННЯ (NGN), ТРАНСПОРТНІ МЕРЕЖІ

Мережі наступного покоління. Транспортні мережі. Технологія Fgate Relay. Ethernet. Цифрові мережі з інтегральними послугами ISDN.

Швидкий розвиток у XXI столітті цифрових мультисервісних мереж зумовив виникнення нової мережевої концепції – концепції мереж наступного покоління (Next Generation Network, NGN).

У Рекомендації Y.2001 (ITU-T) NGN визначено як концепцію побудови мереж зв'язку, які надають необмежений набір послуг (зокрема й широкосмугових) з гнучкими можливостями щодо їх керування, персоналізації та створюють нові послуги за рахунок уніфікації мережевих рішень з використанням мультисервісної транспортної мережі, винесенням функцій надання послуг в кінцеві вузли мережі та можливістю інтеграції з традиційними мережами зв'язку.

Визначення NGN можна доповнити такими характеристиками:

– універсальна мобільність передбачає, що для користувачів і будь-яких рухомих об'єктів надання послуг є безперервним та повсюдним, тобто взаємодія та доступ до послуг не залежатимуть від змін місцезнаходження або технічних умов. Рівень доступу до послуг обумовлюється лише технологічними можливостями мережі доступу, узгодженням рівнів обслуговування між мережею реєстрації користувача та візитною мережею;

– можливість широкосмугового передавання з наскрізним QoS передбачає досягнення угод з різними кінцевими системами щодо забезпечення необхідної якості обслуговування з кінця в кінець, щодо використання наборів параметрів протоколу верхнього рівня для керування нижнім рівнем, а також досягнення угод про механізми QoS рівня доступу та транспорту;

– забезпечення безлічі технологій для мереж доступу;

– повна захищеність інформації в мережі;

– незалежність функцій, пов'язаних з послугами, від внутрішніх транспортних технологій;

– забезпечення відкритих інтерфейсів для взаємодії з традиційними мережами;

– різноманітні схеми ідентифікації користувачів та уніфіковані (за оцінкою користувача) характеристики одних і тих самих послуг у різних мережах.

Багаторівневу архітектуру концепції NGN подано на рисунку 9.1



Рисунок 9.1 – Багаторівнева архітектура концепції NGN

Мовлення (в даному випадку медіа-трафік) і сигнальна інформація для керування обслуговуванням виклику в NGN передають різними маршрутами та обробляють різні мережеві пристрої, а не єдиний вузол комутації каналів (АТС), як у традиційній ТФЗК. Медіа-трафік проходить безпосередньо між шлюзами доступу АГ (Access Gateway) або транспортними шлюзами МГ (Media Gateway). Сигналізація управління викликом проходить через інший пристрій – спеціальний програмний комутатор СГ (Signaling Gateway), але завжди не там, де проходить медіа-трафік. Маршрути медіа-трафіку і сигналізації сходяться в прикордонному контролері сеансів АС (Application Gateway) – ще одному спеціальному пристрої, який застосовують у NGN. Особливе місце тут займає програмний комутатор ССВ (Softswitch), який дає змогу надавати мовленнєві послуги у процесі взаємодії мереж з синхронним режимом перенесення (класична телефонія) та з асинхронним (середовища з пакетною комутацією).

Отже, NGN – це повноцінна платформа для швидкого створення нових комунікаційних послуг. Значну роль у цьому процесі відіграє Softswitch, який забезпечує нові можливості завдяки інтерфейсам прикладного програмування, що ґрунтуються на відкритих стандартах.

Транспортні мережі.

Транспортна мережа виконує функцію перерозподіл трафіку між усіма поєднаними елементами мережі і є сегментом формування суто транзитного трафіку (СФТТ). Найпоширеніші варіанти мереж — локальна, міська й глобальна (LAN, MAN, WAN) — відрізняються масштабом, який визначає інші параметри. Побудова транспортних мереж базується на вищезазначених принципах побудови сегментів фізичного, каналного та мережевого рівнів моделі OSI/ISO. Однак, оскільки для сегментів LAN, MAN та WAN розроблено спочатку різні телекомунікаційні технології, то й елементи обладнання, які використовують для побудови відповідних їм СФТТ, мають певні відмінності.

1) Особливості LAN.

Це невелика мережа з радіусом дії в межах 1-5 кілометрів. По суті, Local Area Network покриває будівлю/групу будівель, а також різні приміщення з комп'ютерами, серверами та периферійними пристроями. Як правило, з'єднання в локальній мережі здійснюється за допомогою Ethernet кабелів, якщо говорити про дротові способи, або по вай-фай.

Зазвичай у такій мережі використовуються протоколи Ethernet, а також FDDI та Token Ring. Це якщо говорити про дротове з'єднання. Якщо говорити про вай-фай, то там використовуються 802.11n/ac/ax. Попередні стандарти вже практично не застосовуються, оскільки застаріли.

2) MAN мережа та її особливості.

Це міська, магістральна, мережа, яка розгортається на площах в 50-60 кілометрів. До Metropolitan Area Network підключають більш дрібні мережі — локальні. Робиться це за допомогою магістральних, зазвичай оптоволоконних, ліній зв'язку. Вони виконують роль моста. До речі, використання оптоволокна не випадково: крім того, що воно забезпечує передачу даних на великі відстані, так ще і є більш надійними. Говорючи просто, MAN — це група LAN, з'єднаних один з одним за допомогою кабелю.

Протоколи, які використовуються для міських мереж: RS-232, ATM, X-25, Frame Relay.

3) Особливості WAN.

Ця дуже велика мережа, яка охоплює територію в межах 100-1000 кілометрів. Глобальна обчислювальна мережа може сягати на територію регіону, країни, забезпечувати міжконтинентальний зв'язок.

При цьому в Wide Area Network застосовується безліч пристроїв: міжмережеві екрани та роутери, комутатори, а також інше мережеве обладнання. Наприклад, деякі компанії використовують мікрохвильові супутники, щоб забезпечити зв'язок між філіями.

Зараз для глобальних мереж використовуються такі протоколи, як: ISDN, PPP. Цікаво, що як і у випадку з магістральною мережею, у WAN може застосовуватися протокол Frame Relay, а також X-25.

Транспортні мережі територіальних сегментів MAN і WAN (масштабу міста, великого регіону) як мережі загального користування (публічні мережі) отримали назву транспортні **мережі METRO**. Їх завданням є перерозподілення транзитного трафіку, який створюють не лише окремі користувачі, а й сегменти LAN.

На каналному рівні METRO реалізується базова сервісна мережа з комутованою топологією та використанням на фізичному рівні двоточкових з'єднань первинної мережі. Функції технологій каналного рівня можуть виконувати як технології синхронного режиму перенесення (тимчасова комутація цифрових каналів), так і асинхронного режиму перенесення

(комутовані віртуальні канали та віртуальні з'єднання). Залежно від застосовуваної технології каналного рівня можна утворити відповідні сервісні мережі: ТФЗК, ISDN, мережу X.25, мережу FR, мережу АТМ, мережу Ethernet, мережу GE, мережу 10GE та ін.

Технологія ретрансляції фреймів (Frame Relay).

У швидкісних телекомунікаційних мережах, які використовують волоконно-оптичне середовище для передавання даних, рівень помилок є набагато нижчим, порівняно з каналами аналогової телефонії. А тому надмірність кодування (застосування складних кодів для виявлення й виправлення помилок) пакетів стає непотрібною, спрощується система заголовків, якою була перенасичена обсягами інформації для відновлення пакетів.

У 90-х рр. ІТУ-Т затверджує новий протокол із сімейства протоколів X.25, який отримав назву протоколу ретрансляції фреймів (кадрів) – (Frame Relay, FR). У цьому протоколі немає тієї надмірності, яка була характерною для протоколу X.25, по-перше, тому, що він спеціально розроблявся для використання на лініях зв'язку з низьким рівнем перешкод, по-друге, в ньому усунуто систему контролю помилок всього фрейму. Замість цього лише перевіряється цілісність отриманого фрейму, й тільки для адресного поля здійснюється контроль помилок.

Завдяки всьому цьому **Frame Relay** забезпечує під'єднання користувачів до телекомунікаційної мережі на швидкості 2 Мбіт/с і вищій. Основною перевагою технології Frame Relay стала низька надлишковість службової інформації в пакеті, що помітно збільшило продуктивність передавання даних у мережі. За іншими критеріями протокол Frame Relay є подібним до протоколу X.25.

Розміри фреймів можуть мати змінну довжину, оскільки самі пакети допускають використання різних довжин і, як наслідок, варіації затримок у процесі передавання фреймів. А це не зовсім прийнятно для передавання мовленнєвих та відеоповідомлень, які вимагають регулярних швидкостей.

Сферою більш ефективного застосування технології Frame Relay є взаємодія локальних мереж LAN через глобальні телекомунікаційні мережі, а також забезпечення високошвидкісних користувальницьких інтерфейсів UNI.

З метою керування потоками фреймів у перевантажених мережах, на мережах FR застосовується система так званих «кредитів». Кредит CIR (Committed Intormation Rate) видається користувачеві, та є своєрідним дозволом на передавання даних зі швидкістю, яка не перевищує вказану. При цьому CIR, який вимірюється в кілобітах на секунду, визначається термінами дозволеного обсягу даних В, який можна надіслати користувачем у мережу за час Т: $CIR = B/T$.

Значення CIR є середнім гарантованим мережею значенням швидкості передавання даних за умови неперевантажень мережі. Кредит CIK видає адміністрація мережі, він може бути однаковим для всіх користувачів або враховувати запит конкретного користувача.

Ethernet.

Ethernet – сімейство технологій пакетної передачі даних між пристроями для комп'ютерних і промислових мереж.

Стандарти Ethernet визначають провідні з'єднання і електричні сигнали на фізичному рівні, формат кадру та протоколи управління доступом до середовища – на канальному рівні моделі OSI. Ethernet в основному описується стандартами IEEE групи 802.3. Ethernet став найпоширенішою технологією локальних мереж в середині 1990–х років, витіснивши такі застарілі технології, як Token Ring, FDDI і ARCNET.

Назва «Ethernet» (буквально «ефірна мережа» або «середовище мережі») відображає первісний принцип роботи цієї технології: все, що передається одним вузлом, одночасно приймається всіма іншими (тобто є якась схожість з радіомовленням). В даний час практично завжди підключення відбувається через комутатори, так що кадри, що відправляються одним вузлом, доходять лише до адресата (виняток становлять передачі на ширококомовна адресу) – це підвищує швидкість роботи і безпеку мережі.

Отже, для мережевої технології Ethernet характерні:

- комутація пакетів (дейтаграмна передача і віртуальні канали);
- типова топологія "загальна шина";
- плоска числова адресація;
- середовище з розділеним доступом.

Основний принцип, покладений в основу Ethernet – випадковий метод доступу до середовища передачі даних, що розділяється. Як таке середовище може використовуватися товстий або тонкий коаксіальний кабель, кручена пара, оптоволоконно або радіохвилі (до речі, першою мережею, побудованою на принципі випадкового доступу до середовища, що розділяється, була радіомережа Aloha Гавайського університету).

У стандарті Ethernet суворо зафіксовано топологію електричних зв'язків. Комп'ютери підключаються до середовища, що розділяється, відповідно до типової структури «загальна шина». За допомогою шини, що розділяється в часі, будь-які два комп'ютери можуть обмінюватися даними. Управління доступом до лінії зв'язку здійснюється спеціальними контролерами мережевими адаптерами Ethernet. Кожен комп'ютер, а точніше, кожен мережевий адаптер має унікальну адресу. Передача даних відбувається із швидкістю 10 Мбіт/с. Ця величина є пропускнуою спроможністю мережі Ethernet.

Метод управління доступом (для мережі на коаксіальному кабелі) – множинний доступ з контролем несучої і виявленням колізій (CSMA/CD, Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection). Режим роботи напівдуплексний, тобто вузол не може одночасно передавати і приймати інформацію. Кількість вузлів в одному сегменті мережі обмежено граничним значенням в 1024 робочих станції (специфікації фізичного рівня можуть встановлювати жорсткіші обмеження, наприклад, до сегменту тонкого коаксіала може підключатися не більше 30 робочих станцій, а до сегменту товстого коаксіалу – не більше 100). Проте мережа, побудована на одному сегменті, стає неефективною задовго до досягнення граничного значення кількості вузлів, в основному через напівдуплексний режим роботи.

У 1995 році прийнятий стандарт IEEE 802.3u Fast Ethernet зі швидкістю 100 Мбіт/с і з'явилася можливість роботи в режимі повний дуплекс. У 1997 році був прийнятий стандарт IEEE 802.3z Gigabit Ethernet зі швидкістю 1000 Мбіт/с для передачі по оптичному волокну і ще через два роки для передачі по витій парі.

Основні переваги технології Ethernet

1. Головною перевагою мереж Ethernet, завдяки якому вони стали такими популярними, є їхня економічність. Для побудови мережі достатньо мати по одному адаптеру для кожного комп'ютера плюс один фізичний сегмент коаксіального кабелю потрібної довжини.

2. Крім того, в мережах Ethernet реалізовано досить прості алгоритми доступу до середовища, адресації та передачі даних. Простота логіки роботи мережі веде до спрощення та, відповідно, зниження вартості мережевих адаптерів та їх драйверів. З тієї ж причини адаптери мережі Ethernet мають високу надійність.

3. І, нарешті, ще однією чудовою властивістю мереж Ethernet є їхня гарна розширюваність, тобто можливість підключення нових вузлів.

Інші базові мережеві технології, такі як Token Ring і FDDI, хоч і мають індивідуальні риси, в той же час мають багато спільного з Ethernet. Насамперед, це застосування регулярних фіксованих топологій («ієрархічна зірка» і «кільце»), а також середовищ передачі даних, що розділяються. Істотні відмінності однієї технології від іншої пов'язані з особливостями використовуваного методу доступу до середовища. Так, відмінності технології Ethernet від технології Token Ring багато в чому визначаються специфікою закладених у них методів поділу середовища — випадкового алгоритму доступу до Ethernet та методу доступу шляхом передачі маркера Token Ring.

Цифрові мережі з інтегральними послугами ISDN.

Поява програмно-керованих електронних АТС, систем ІКМ з часовим розподілом каналів (ЧПК), а також перехід до наскрізних цифрових трактів передавання в мережі з кінця в кінець дало змогу створити інтегровані

цифрові мережі зв'язку, якими розпочато другий – цифровий етап розвитку телекомунікаційних мереж.

У технології ISDN зроблено першу реальну спробу безпосередньо надати послуги передавання не тільки голосової, а й відеоінформації та даних кінцевим користувачам у єдиній цифровій мережі.

Технологія ISDN з'явилася в 1984 році. Цифрова мережа з інтегрованими послугами (ISDN — Integrated Services Digital Network) — система, в якій по телефонних каналах передаються тільки цифрові сигнали, в тому числі і по абонентських лініях, тобто кінцевий абонент передає дані безпосередньо в цифровій формі. ISDN дозволяє об'єднати передачу голосу, даних і зображення та доступ до мережі Internet. Інтеграція різнорідних трафіків ISDN виконується, використовуючи спосіб часового поділу (TDM — Time Division Multiplexing). У ISDN інтегровано не тільки комутаційне й передавальне обладнання, а й різні методи комутації (КК, КП), різні види обслуговування (скорочений номер, зворотний виклик, переадресація виклику та ін.)

Підключатися до мережі ISDN можуть будь-які пристрої: як фізичні модулі ISDN, так і віртуальні. (рисунок 9.2): кінцева станція типу 1 NT1 – це фізичний пристрій інтерфейсу користувача ISDN, який виконує функції першого рівня моделі OSI: фізичне з'єднання між пристроями користувача і мережею, обслуговування і моніторинг лінії; кінцева станція типу 2 NT2 – реалізує функції перших трьох рівнів моделі OSI, це комунікаційні пристрої (шлюзи локальних мереж, комутатори тощо); термінальне обладнання TE1 – це будь-який модуль кінцевого користувача, який підтримує протоколи і сервіси мережі; термінальне обладнання TE2 – це пристрої кінцевого користувача, несумісні з мережею ISDN; термінальний адаптер ТА – дозволяє підключати пристрої, що не підтримують протоколи ISDN, до мережі. Кінцевими пристроями в мережі ISDN можуть бути: цифровий телефонний апарат, комп'ютер з ISDN-адаптером, відео- та аудіообладнання.

Як налаштування, так і роз'єднання зв'язку між абонентами здійснюються через сигнальний канал і відбуваються майже миттєво.

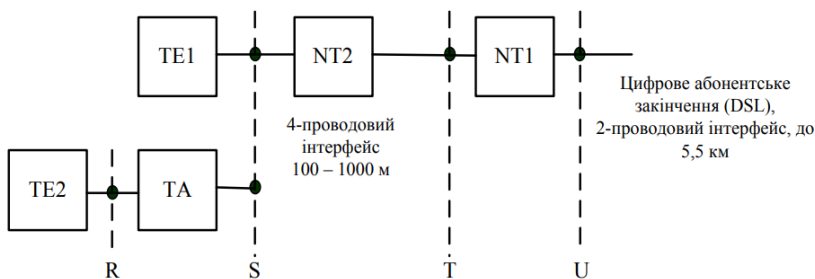


Рисунок 9.2 – Підключення обладнання користувача ISDN

ТЕМА 10 МЕРЕЖІ АБОНЕНТСЬКОГО ПРОВОДОВОГО І БЕЗПРОВОДОВОГО ДОСТУПУ

Проводові мережі абонентського доступу. Типи технологій xDSL. Переваги і недоліки безпроводових мереж доступу. Вузкосмугові та широкосмугові безпроводові закінчення. Технології Wi-Fi, Bluetooth, WiMAX.

Призначення мереж доступу полягає у формуванні агрегованих інформаційних потоків, спрямованих користувачами в транспортну мережу з максимальною концентрацією їх у вузлах доступу, й розподіленні потоку, який надходить з транспортної мережі, між кінцевими користувачами з урахуванням конкретних запитів кожного. Першою «сходинкою», яка забезпечує під'єднання користувачів до мережі й можливість отримання ними телекомунікаційних та інформаційних послуг як на місцевому рівні, так і з виходом у глобальні мережі та в Інтернет, є мережі абонентського доступу, що поділяються на проводові і безпроводові.

На рисунку 10.1 наведено схему традиційної проводової мережі абонентського доступу, мережеві закінчення (КТ) якої можна знайти в кожному домі.

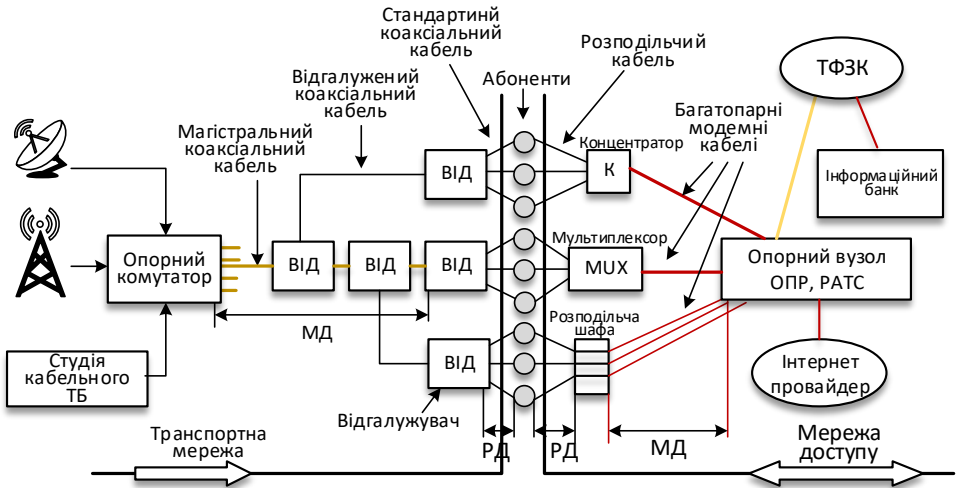


Рисунок 10.1 – Схема традиційного абонентського доступу

Мережа абонентського доступу складається з двох ділянок: розподільчої ділянки (РД) (це, в основному, окремі мідні пари); магістральної ділянки (МД), на якій використовують спільний багатожильний кабель.

Телефонні лінії загального користування, пов'язані витвою парою мідних проводів з телефонною станцією дозволяють передавати аналогові

сигнали в вузькому частотному діапазоні, цілком прийнятному для спілкування. Максимально доступна швидкість передачі може досягати 56К.

Ця лінія може бути доповнена модемом, який використовує цифро-аналогове. Така цифрова абонентська лінія (Digital Subscriber Line, DSL) надається абонентові безпосередньо після під'єднання до мережі ISDN. Усі послуги цієї мережі засновано на передаванні інформації в цифровому вигляді. Інтерфейс користувача (BRI, PRI) також є цифровим, тобто всі абонентські пристрої (телефон, факс, комп'ютер) повинні бути цифровими й спрямовувати в мережу цифрові дані.

Альтернативою цифрового абонентського закінчення є сімейство технологій із загальною назвою xDSL. Технології xDSL засновано на методах, які дають змогу стиснути спектр сигналу й зосередити основну частину його енергії на ділянках більш низьких частот, що узгоджує електричні характеристики кабелю з параметрами сигналу. Подібних перетворень спектру сигналу досягають, використовуюючи спеціальні методи модуляції та кодування.

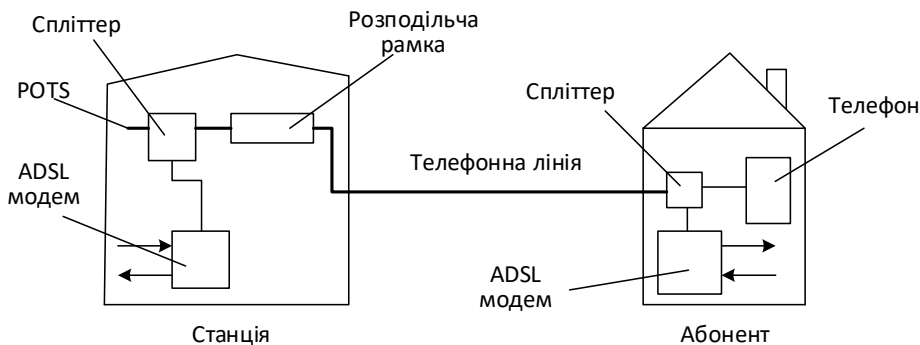


Рисунок 10.2 – Схема цифрової абонентської лінії

Модеми створюють кілька каналів, використовуючи доступний діапазон частот лінії, за допомогою частотного мультиплексування (FDM). FDM поділяє діапазон на два: для доставки і для доступу.

Канал доставки поділяється на кілька низько- та високошвидкісних каналів за допомогою часового мультиплексування. Канал доступу мультиплексується до низькошвидкісних каналів, накладаючись на канали доставки. Локальні ехо-подавлювачі використовуються для відділення прямого трафіку від зворотного, багато в чому аналогічно тому, як це відбувається у випадку аналогових модемів.

Що стосується методів модуляції, то в даний час найбільшого поширення набула «дискретна багатотональна модуляція» (Discrete Multitone, DMT).

Типи технологій xDSL.

DSL об'єднує під своїм крилом одразу кілька технологій цифрового абонентського доступу. Для користувача важливо зрозуміти різницю між ними при виборі обладнання. Найбільше значення має відношення значення відстані до базової станції до швидкості передачі даних, а також різниця між швидкостями "низхідного" (від мережі до користувача) і "висхідного" (від користувача до мережі) потоку даних.

– ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line – асиметрична цифрова абонентська лінія). Набула найбільшого поширення завдяки простій інсталяції, можливості одночасної роботи телефону та високошвидкісної передачі даних щодо низької вартості підключення. Ця технологія ідеально підходить для невеликих офісів та домашніх користувачів своєю асиметрією, оскільки потік даних до абонента значно вище, ніж зворотний. ADSL забезпечує швидкість даних до користувача в межах до 8 Мбіт/с і швидкість від користувача до 768 Кбіт/с. Причому ця швидкість може бути досягнута тільки на відстані до 2 км.

– IDSL (ISDN Digital Subscriber Line – цифрова абонентська лінія ISDN). Забезпечує передачу даних на швидкостях до 144 Кбіт/с в обох напрямках (дуплекс). Відмінність від звичного ISDN полягає в тому, що IDSL технологія, що не комутується, тобто користувачеві не потрібно додзвонюватися до провайдера. Власне, це особливість усієї лінійки DSL.

– HDSL (High Bit-Rate Digital Subscriber Line – високошвидкісна цифрова абонентська лінія). Технологія HDSL передбачає організацію симетричної лінії передачі даних, тобто швидкості передачі даних від користувача до мережі та з мережі до користувача рівні. Швидкості передачі – 1.544 Мбіт/с по двох парах проводів та 2.048 Мбіт/с за трьома парами проводів.

– SDSL (Single Line Digital Subscriber Line – однолінійна цифрова абонентська лінія). По-перше, використовується лише одна кручена пара проводів, а по-друге, максимальна відстань передачі обмежена 3 км. У межах цієї відстані технологія SDSL забезпечує, наприклад, роботу системи організації відеоконференцій, коли потрібно підтримувати однакові потоки передачі в обидва напрями.

– VDSL (Very High Bit-Rate Digital Subscriber Line – надвисокошвидкісна цифрова абонентська лінія). Технологія VDSL є найбільш "швидкою" технологією xDSL. Вона забезпечує швидкість передачі даних "низхідного" потоку в межах від 13 до 52 Мбіт/с, а швидкість передачі даних "висхідного" потоку в межах від 1.5 до 2.3 Мбіт/с, причому по одній крученій парі телефонних проводів. У симетричному режимі підтримуються швидкості 26 Мбіт/с. Технологія VDSL може розглядатися як економічно ефективна альтернатива прокладання волоконно-оптичного кабелю до кінцевого користувача. Однак максимальна відстань передачі

даних для цієї технології становить від 300 до 1300 метрів. Тобто або довжина абонентської лінії не повинна перевищувати даного значення, або оптико-волоконний кабель повинен бути підведений ближче до користувача (наприклад, заведений у будівлю, в якій знаходиться багато потенційних користувачів).

Мережі абонентського безпроводового доступу.

У зв'язку із зростанням кількості засобів обчислювальної техніки, появи необхідності організації високошвидкісних з'єднань між ними із урахуванням їх можливої мобільності, стали розроблятися безпроводові рішення (Radio Ethernet), як альтернатива проводимим мережам передачі даних.

У користувачів мобільних пристроїв із безпроводовим доступом з'явилася можливість переміщатися в межах зони діючих мереж. Швидкість сучасних безпроводових технологій досить висока, що дозволяє використовувати їх для вирішення дуже широкого спектру практичних задач. Крім того, розгортання безпроводових мереж потребує значно меншого часу та матеріальних витрат.

Слід відмітити і деякі недоліки безпроводових мереж:

- схильність до впливу радіозавад;
- обмежений радіус дії;
- менша швидкість передачі даних ніж у проводимих мережах;
- складніша схема забезпечення конфіденційності та безпеки інформації, що передається;
- наявність експлуатаційних та частотних обмежень в різних країнах;
- можлива неповна сумісність між пристроями різних виробників.

Зазвичай технології безпроводових мереж групуються у чотири типи, що розрізняються за розміром зони дії мережі передачі даних

PAN (Personal Area Network) – безпроводові персональні мережі, які призначені для безпроводового об'єднання електронних пристроїв 280 користувача (ПК, КПК, мобільних телефонів, принтерів, телефонної гарнітури та інших пристроїв) в радіусі до 10 метрів.

WLAN (Wireless Local Area Network) – безпроводові локальні мережі, які виступають альтернативою проводимих мереж та реалізують безпроводовий доступ до групових ресурсів в межах зони дії до 100 метрів. Такі мережі інколи використовуються для продовження проводимих корпоративних локальних мереж. У невеликих компаніях WLAN можуть повністю замінити кабельні з'єднання.

WMAN (Wireless Metropolitan Area Network) – міські (регіональні) безпроводові мережі, які мають радіус дії до 50 км. **WWAN** (Wireless Wide Area Network) – глобальні безпроводові мережі, які забезпечують доступ мобільних користувачів до їх корпоративних мереж і Інтернету. Для передачі даних використовують стільникові мережі.

Основними елементами безпроводових мереж є точки доступу, які можуть виконувати і функції комутатора, та безпроводові абонентські адаптери (радіомодеми). Точки доступу забезпечують взаємодію та обмін даними з безпроводовими адаптерами, а також зв'язок з проводовим сегментом мережі. Для передачі даних використовують різні види сигналів, а саме – інфрачервоне випромінювання (з довжиною хвилі $\lambda=800\dots900$ нм), широкосмугові сигнали (FHSS, DSSS), вузькосмугові сигнали стандартів стільникового зв'язку тощо. При цьому для радіодоступу застосовують як не ліцензовані практично в глобальному масштабі діапазони частот (діапазон ISM – Industrial, Scientific and Medical: 2,4...2,4835 ГГц; діапазон U-NII – Unlicensed National Information Infrastructure: 5,15...5,35 ГГц та сумісний U-NII/ISM: 5,725...5,875 ГГц) так і діапазони частот, використання яких потребує ліцензії.

Мережу абонентського безпроводового доступу зображено на рисунку 10.3.

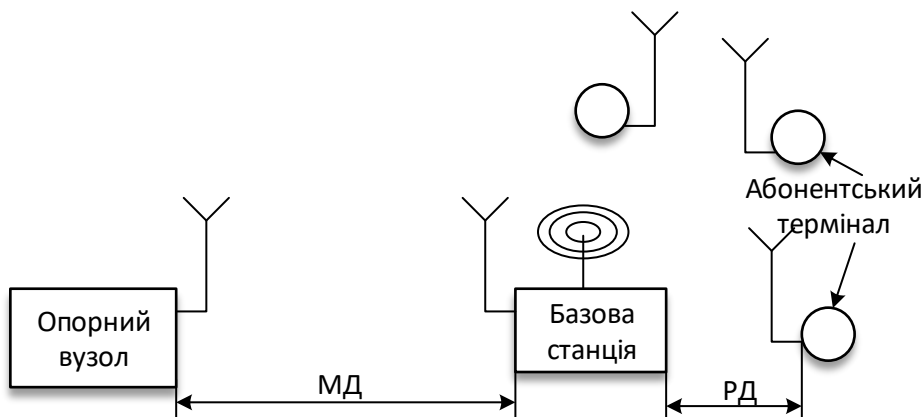


Рисунок 10.3 – Стационарний радіодоступ

Незважаючи на відсутність кабелю на розподільчій ділянці (РД), абоненти, як і раніше, залишаються «прив'язаними» до конкретної стаціонарної географічної точки – базової станції (BS). Базова станція з опорним вузлом може бути пов'язана як за допомогою кабелю (потокотом Е1 0703, модемною технологією HDSW), так і безпроводовим способом (цифрових РРЛ, супутникових систем зв'язку).

Абонентський термінал (АТ) є радіоблоком з компактною направленою або ненаправленою антеною. Залежно від типу антени й потужності передавача, допустиме віддалення АТ від базової станції може становити від 5 до 12 км. Існують **вузькосмугові та широкосмугові** безпроводові абонентські закінчення.

Вузькосмугові безпроводові закінчення (є альтернативою існуючих телефонних ліній зв'язку) забезпечують передавання тільки низькошвидкісного комп'ютерного (до 128 Кбіт/с) та телефонного трафіку. Вузькосмугові системи безпроводового абонентського радіодоступу можна поділити на три категорії:

- системи, що підтримують стандарти бездротової телефонії (DECT, CT 2, PHS тощо);
- цифрові й аналогові системи, які реалізовані на базі технології стандартів стільникового мобільного зв'язку (NMT-450/900, D-AMPS, CDMA тощо);
- фірмові аналогові і цифрові системи, які призначені для забезпечення радіотелефонного зв'язку.

Типовою технологією вузькосмугового абонентського закінчення є технологія DECT.

Сфери застосування стандарту DECT – це системи мікростільникового зв'язку для бізнесу, безпроводові АТС для середніх і великих компаній, пристрої абонентського доступу до телекомунікаційної мережі загального користування, альтернатива стандартному проводовому під'єднанню WLL, мікростільникові радіотелефони для дому й малих офісів.

Стандарт базується на цифровому радіопередаванні даних між базовими радіостанціями й радіотелефонами за технологією множинного доступу з часовим розподілом, TDMA. Повністю дуплексний зв'язок забезпечується за допомогою часового дуплексування TDD. Діапазон радіочастот, використовуваних для приймання/передавання, – 1880–1900 МГц. Робочий діапазон (20 МГц) розподілено на 10 радіоканалів, кожен – по 1,728 МГц. Обмін інформацією проводиться кадрами; за допомогою часового розподілення в кожному кадрі створюються 24 часові слоти; 24 слоти забезпечують 12 дуплексних каналів для приймання/передавання голосу.

Широкосмугові безпроводові абонентські закінчення (забезпечують передачу телевізійних сигналів, двосторонні високошвидкісні послуги передачі мови і даних по радіоканалах) засновано на системах поширення телевізійного сигналу, які працюють у високочастотному діапазоні й забезпечують передавання всіх трьох видів трафіку, причому комп'ютерні дані можуть передаватися зі швидкостями кілька мегабіт в секунду.

Розрізняють наступні різновиди широкосмугових систем:

- MMDS – Multichannel Multipoint Distribution Service (багатоканальна багатоточкова розподільча служба);
- LMDS – Local Multipoint Distribution Service (локальна багатоточкова розподільча служба).

Системи MMDS працюють в більш низькому діапазоні частот ніж LMDS і відповідно при однаковій потужності обслуговують більші за площею території, але при цьому забезпечують більш низьку швидкість доступу. Крім того, обидві системи потребують наявності прямої видимості між антенами радіообладнання базової і абонентської станцій. Системи функціонують в наступних мережевих структурах:

- «точка- багато точок» (point-to-multipoint) – для організації прямого каналу;

- «точка- точка» (point-to-point) – для організації зворотного каналу.

Системи MMDS та LMDS не стандартизовані.

Стандарт IEEE 802.16 є найбільш поширеним, оскільки визначає загальні принципи використання частотного діапазону, методи мультиплексування й надані послуги, що дає змогу врахувати інтереси різних виробників обладнання WLL та забезпечити гнучкість таких систем. У даний час інтенсивно освоюються діапазони 2.5, 3.5 і 5.8 ГГц. Специфікація IEEE 802.16 стала стандартом для побудови мереж ширококутового доступу наступного покоління, які дають змогу не тільки покрити всі зони «останньої милі», але й охопити безпроводовим зв'язком цілі регіони.

Отже, безпроводова система радіотелефонного зв'язку (бездротова телефонія) – це мобільна система радіозв'язку з обмеженою рухливістю абонентів, причому обмеження відносяться як до дальності переміщення абонентів від базової станції (десятки-сотні метрів), так і до швидкості переміщення (швидкість пішохода – до 5...10 км/год).

Особливості галузі мобільного радіозв'язку у порівнянні з іншими видами мобільного зв'язку:

- ці засоби зв'язку розраховані, у першу чергу, на застосування усередині приміщень, при малих відстанях зв'язку і, отже, з малою затримкою та малою різницею ходу сигналів при багатопроменевому поширенні радіохвиль;

- велика потужність випромінювання передавачів, зазвичай не більше 10 мВт, і, відповідно, ощадлива витрата енергії джерел живлення абонентських станцій;

- порівняно проста обробка сигналу при високій якості передачі мови, що не поступає якості проводової телефонії;

- динамічний розподіл каналів, що дозволяє дуже раціонально використовувати наявний частотний ресурс;

- дуплексний зв'язок із частотним або частотно-часовим розподілом каналів множинного доступу; – не завжди передбачається повне покриття території, як це завжди має місце в стільникових і транкінгових системах.

Існує безліч безпроводових технологій, які часто відомі користувачам по їх маркетинговим назвам, таким як Wi-Fi, WiMAX, Bluetooth. Кожна з

цих технологія володіє певними характеристиками, які визначають їх область застосування.

Технологія **IEEE 802.11 Wi-Fi** (Wireless Fidelity – «бездротова точність») розроблена та стандартизована для, так званого, внутрішньоофісного застосування – це бездротова ЛОМ невеликого масштабу (як правило, в межах офісу чи поверху), що зазвичай покриває десятки метрів, яка використовує неліцензовані діапазони частот для забезпечення доступу до мережі. Зазвичай Wi-Fi використовується користувачами для доступу до своєї локальної мережі, яка може бути і не підключена до Інтернету. У серії стандартів 802.11 визначено досить простий колізійний протокол, аналогічний Ethernet.

Найбільш популярним варіантом цього набору є 802.11g, який підтримує швидкість передачі даних до 54 Мбіт/с на частоті 2,4 ГГц, а також забезпечує сумісність з більш ранніми версіями свого стандарту 802.11b. Адміністрування таких мереж також достатньо відпрацьовано, що дозволяє використовувати їх будь-яким підприємствам. Проте, в діапазоні 2.4 ГГц працює багато пристроїв, такі як пристрої Bluetooth, мікрохвильові печі, що погіршує електромагнітну сумісність.

Основні переваги і недоліки технології наведені в таблиці 10.1

Таблиця 10.1

Переваги технології Wi-Fi	Недоліки технології Wi-Fi
<ul style="list-style-type: none">– розгортання мережі без прокладання кабелю;– швидкість і простота додавання нових пристроїв:мобільність;– є глобальним стандартом, що працює по всьому світу.	<ul style="list-style-type: none">– обмежений радіус дії;– чутливість до перешкод;– використання застарілого формату шифрування WEP;– високий, порівняно з іншими стандартами, рівень споживання енергії.

Стандарт **IEEE 802.15 Bluetooth** розроблений для створення універсального, надійного та дуже дешевого радіоінтерфейсу бездротового доступу. це бездротова технологія, яка працює на короткій відстані та забезпечує бездротовий обмін даними між цифровими пристроями, такими як комп'ютер і цифровий фотоапарат. Бездротова технологія **BLUETOOTH** працює на відстані до 10 м.

Найбільш поширеним способом є підключення двох пристроїв один до одного; втім, деякі пристрої можна підключати одночасно до багатьох пристроїв.

Для підключення не потрібен кабель, також пристрої не треба спрямовувати один на одного, як у разі використання інфрачервоної

технології. Технологія Bluetooth спеціально розроблена для забезпечення дешевою, стійкої, ефективної, високоемного зв'язку, для роботи з голосом і передачі даних, з наступними характеристиками:

1. Швидкість передачі/прийому 1 Мбіт/с, при використанні каналу з максимально можливою шириною смуги.

2. Швидкі перемикання частоти, щоб уникнути інтерференції.

3. Адаптивна вихідна потужність для мінімізації перешкод.

4. Короткі пакети даних для мінімізації потужності під час перешкод.

5. Швидке впізнання (підтвердження).

6. CVSD (Continuous Variable Slope Delta Modulation) голосове кодування, яке дає можливість роботи з високими частотами помилок по бітам.

7. Гнучкі типи пакетів, які підтримують широкий спектр додатків.

8. Ненапружений «бюджет зв'язку», що підтримує недорогу інтеграцію окремих елементарних сигналів.

9. Інтерфейс передачі/прийому, спеціально пристосований для мінімізації енергоспоживання. Надмініатюрні екологічно безпечні радіопередавачі з малим енергоспоживанням можуть легко вбудовуватися в персональні комп'ютери та будь-які портативні пристрої.

Стандарт **IEEE 802.16 WiMAX** (Worldwide Interoperability for Microwave Access) це система дальньої дії, що покриває кілометри простору, яка зазвичай використовує ліцензовані спектри частот (хоча можливо і використання неліцензованих частот) для надання з'єднання з інтернетом типу точка-точка провайдером кінцевому користувачу. Різні стандарти сімейства 802.16 забезпечують різні види доступу, від мобільного (схожий з передачею даних з мобільних телефонів) до фіксованого (альтернатива дротовому доступу, при якому бездротове обладнання користувача прив'язане до розташування). Є розрахованою на використання в міських розподілених (регіональних) мережах (Wireless MAN – Metropolitan Area Network) технологію бездротового широкосмугового доступу операторського класу. Стандарт передбачає побудову деякого універсального транспортного середовища для різноманітних додатків, включаючи дані, аудіо/відео, передачу мови за допомогою IP-протоколу (VoIP) з різною якістю обслуговування при швидкості 12 Мбіт/с та ширині каналу 1,75 або 3,5 МГц (система BreezeMAX компанії Alvarion).

ТЕМА 11 ВЗАЄМОДІЯ ВІДКРИТИХ СИСТЕМ TSM

Конвергенція мереж. Еталонна модель мережі ISO. Промисловий стандарт стека протоколів TCP/IP. Рівневі протоколи взаємодії.

Мережі зв'язку звичайно класифікують відповідно до категорій послуг, які вони надають, найбільші групи це телекомунікаційні або транспортні послуги та інформаційні послуги. Передача комп'ютерних даних засобами телефонних комунікацій або передача мовного трафіку з використанням пакетного режиму переносу інформації в мережі Internet (VOIP) ускладнює та видозмінює звичну у минулому класифікацію мереж зв'язку за типом переданих інформаційних повідомлень. Сьогодні відбувається взаємопроникнення різних за походженням і принципами роботи мереж (мережі передачі комп'ютерних даних і мережі передачі мовного (телефонного) трафіку), що свідчить про конвергенцію мереж.

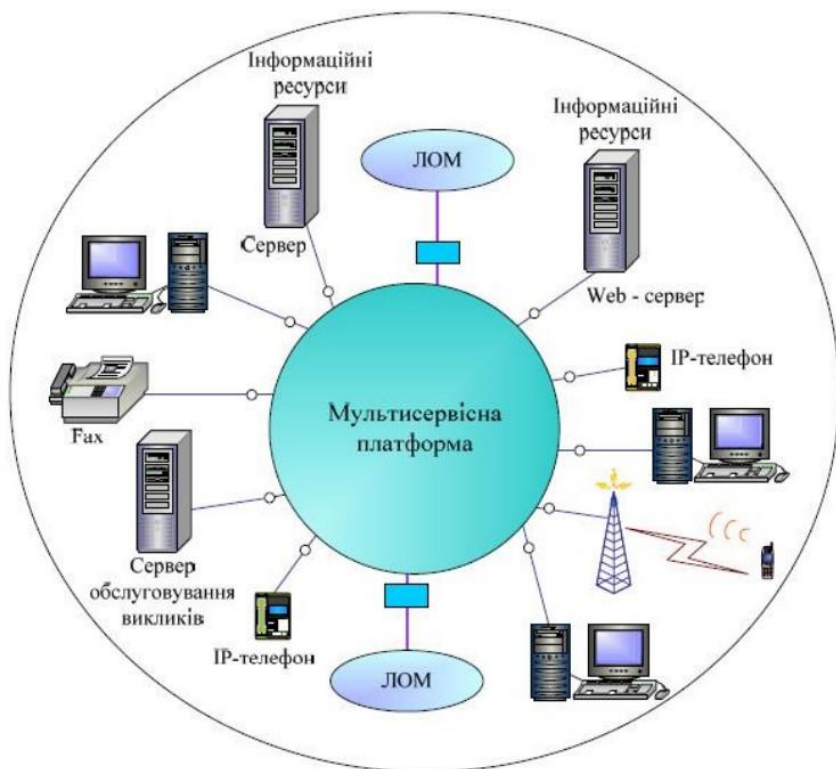


Рисунок 11.1 – Інфокомунікаційна мережа

Під конвергенцією в телекомунікаціях розуміють забезпечення практично однакових наборів послуг різними за технологічними

можливостями мережами, або об'єднання кінцевих пристроїв, таких, як телефон, персональний комп'ютер і TV–приймач у єдиний термінал. Таким чином утворюється спільний ринок інфокомунікації – це сукупність мережевих ресурсів, призначених для спільної участі у виробництві та наданні телекомунікаційних, інформаційних та інших послуг інформаційного співтовариства (рисунок). Інфокомунікації забезпечують: можливість перенесення в просторі інформаційних повідомлень; взаємодію інформаційних систем; виробництво нових послуг та інформації.

Конвергенція голосового трафіку і даних дозволяє операторам розширити спектр додаткових послуг в мережах з комутацією каналів і комутацією пакетів, що, в свою чергу, стимулює зростання їх прибутковості. При цьому цифрові транспортні мережі створюють основу для більшості накладених телекомунікаційних мереж дозволяючи інтегрувати різні мережеві технології в єдину мультисервісну мережу. Однак, при цьому, оператор мережі має забезпечити додатки і користувачів мережі наскрізним транспортним сервісом в рамках будь-якої мережі. Для цього необхідне узгодження безлічі як несумісних протоколів, так і інтегрованих в структуру мереж у міру їх появи. Створення сучасних інформаційних систем неможливо без використання загальних підходів при розробці, без уніфікації характеристик і параметрів їх компонентів.

Для ефективної реалізації пропускнуєї спроможності каналів передачі інформації і комутаційних вузлів мереж зв'язку необхідно дотримання певного набору стандартних правил, які повинні бути побудовані за принципом деякої ієрархії. Набір стандартних процедур взаємодії та програмних засобів, які забезпечують встановлення зв'язку, перемикання, переривання зв'язку при необхідності і т.п., в даний час в основному реалізується програмно. Ці правила (стандарти) розробляються низкою міжнародних організацій електровз'язку.

В основу багаторівневої архітектури зв'язку покладена концепція **еталонної моделі взаємодії відкритих систем** (OSI – Open System Interconnection), що забезпечує введення єдиних стандартів на міжнародному рівні для новостворюваних інформаційних мереж. Вона описана стандартом ISO 7498. Еталонна модель взаємодії відкритих систем розроблена на початку 1980-х рр. Міжнародною організацією зі стандартизації (International Organization for Standardization – ISO – ICO) спільно з Міжнародним союзом електровз'язку X.200. Модель BBC як єдиний комплекс стандартів є основою для взаємної сумісності обладнання та програм різних постачальників.

Еталонна модель BBC орієнтована на виконання таких функцій:

- представлення даних в стандартній формі;
- зв'язок між процесами інформаційного обміну та синхронізація їх роботи;

- управління інформаційно–обчислювальними ресурсами;
- контроль помилок і збереження даних;
- управління базами даних;
- підтримка програм, що забезпечують передачу та обробку даних;
- тестування та ін.

Основні елементи таких відкритих систем, як мережі зв'язку – абонентські станції (АС) і фізичне середовище для передачі інформації. **Абонентські станції**, що представляють собою мобільні станції користувачів і пристрої колективного користування, забезпечують певний прикладний процес – той чи інший вид доставки, обробки і відображення інформації для потреб користувачів.

Взаємодія АС може мати різний рівень ієрархії перетворення інформації при обміні. На відміну від первинних мереж, які передбачають підключення робочих станцій тільки до свого центрального комп'ютера, станції відкритих систем можуть взаємодіяти з АС будь–яких інших систем зв'язку, виконаних за стандартом ВВС.

Для спрощення розробки та реалізації мережевої архітектури кожна система розбивається на ряд функціональних рівнів. При цьому взаємодія систем в мережі представляється у вигляді взаємодії між елементами систем одного функціонального рівня. Еталонна модель ВОС використовує сім функціональних рівнів(рисунок 11.2).



Рисунок 11.2 – Еталонна модель взаємодії ВОС

Таким чином протокольна модель описує роботу мережі зв'язку на рівні правил взаємодії (протоколів) об'єктів (функцій) та функціональних модулів, розосереджених на різних кінцевих системах.

Сама по собі еталонна модель не гарантує з'єднання. Кожен з рівнів, включених в модель, визначає деяку сукупність функцій і послуг, які

реалізуються у відповідних протоколах. Робота деяких з цих протоколів, як буде показано нижче, не залежить від мережі (протоколи верхніх рівнів), а інші протоколи в тій чи іншій мірі залежать від мережі (транспортний протокол і протоколи нижніх рівнів).

Нагадаємо, що термін «протокол» позначає набір процедур, що містять правила управління і формати інформаційного обміну, необхідні для здійснення зв'язку між користувачами. Протоколи необхідні на кожному рівні управління мережею.

Інтерфейс – апаратно-програмні засоби сполучення (стик) двох пристроїв або фрагментів апаратно-програмного забезпечення. Інтерфейс визначає набір сервісів, що надається даним рівнем сусідньому рівню. На практиці потрібно, як правило, кілька рівнів інтерфейсів і протоколів для підтримки додатків кінцевого користувача.

Як ілюстрацію того, як відбувається реалізація протоколів і міжрівневих інтерфейсів при ініціалізації взаємодії двох кінцевих систем, проаналізуємо процес ділового інформаційного спілкування між двома користувачами, які знаходяться в різних установах. Особа, яка підготувала інформаційне повідомлення, передає його помічникові з адміністративної роботи (рівень, розташований нижче) та повідомляє ім'я одержувача.

Помічник з адміністративної роботи шифрує повідомлення (якщо це необхідно) та форматує його (розміщує на офіційному бланку). Підготовлений документ передається секретареві (наступний нижчий рівень), який, у свою чергу, кладе його в конверт, додає повну адресу та наклеює поштову марку. Кур'єрський рівень забезпечує фізичну доставку конверта серед іншої кореспонденції за адресою одержувача.

У такій системі відправник не має уявлення про механізм доставки. Він цілком покладається на сервіси нижчих рівнів і не турбується про те, як вони реалізуються. Це принциповий момент, який є необхідним у правильно сформованому стеку протоколів. Будь-який рівень повинен мати можливість змінювати механізм реалізації наданого ним сервісу, не впливаючи на роботу будь-якого іншого рівня. Так, наприклад поштовий кур'єр може доставляти кореспонденцію на велосипеді, автомобілі або поїзді, але це жодним чином не позначиться на роботі інших співробітників апарату. Вони повинні бути впевнені, що кореспонденція буде доставлена адресатові. Або, якщо передані дані в системі обробляються з використанням повного стека протоколів, ми можемо замінити мідне середовище передачі на оптико-волоконне, й це не впливатиме на програмне чи апаратне забезпеченні верхніх рівнів стека.

Архітектура взаємодії АС має наступні функції рівнів, тобто такі протоколи:

Перший рівень – фізичний, він забезпечує інтерфейс з фізичним середовищем (фізичне середовище часто називають кульовим рівнем).

Реалізується управління каналом зв'язку, що зводиться до його підключення і відключення та формування сигналів, що представляють передані повідомлення і (або) дані. На фізичному рівні біти інформації або даних передають по фізичних каналах зв'язку, таким, наприклад, як коаксіальний кабель, кручена пара, оптичний кабель, радіоканал або цифровий канал зв'язку. Цей рівень визначає характеристики фізичних засобів передачі, такі як смуга пропускання, перешкодозахищеність, хвильовий опір, втрати і т.п. На фізичному рівні задаються параметри сигналів електрозв'язку – електричних і оптичних, такі як рівні сигналів, тип кодування, швидкість передачі та ін. На цьому ж рівні стандартизуються власне фізичні інтерфейси, зокрема, типи роз'ємів і призначення кожного контакту.

Другий (канальний) рівень – відповідає за якісну передачу даних між двома пунктами, пов'язаними фізичним каналом з урахуванням особливостей середовища-передавача. При цьому фізичні середовища передачі можуть відрізнятися (мідь, оптичне волокно, ефір). Несумісними можуть виявитися й вимоги до формату подання даних у кожному каналі, що називається лінійним кодуванням. У цій ситуації канальний рівень бере на себе функції адаптації даних до типу фізичного каналу зв'язку. Блок даних на канальному рівні називається кадром або фреймом. Пакети мережевого рівня, об'єднані в кадр, обрамляються розділовими прапорами (спеціальними послідовностями біт, розміщеними на початку та в кінці блоку пакетів). Крім того, до кадру додається контрольна сума, з використанням якої здійснюється перевірка правильності переданого каналом кадру. У разі виявлення невиправної помилки, приймач надсилає запит до передавача про повторну передачу кадру. Важливими функціями канального рівня є керування доступом до каналу з зв'язку, синхронізація кадрів, керування потоком даних, адресація, встановлення з'єднання й роз'єднання.

Третій (мережевий) рівень – виконує головну телекомунікаційну функцію забезпечення зв'язку між кінцевими системами мережі. Цей зв'язок реалізовано шляхом надання наскрізного каналу відповідно до оптимально обраного маршруту. При цьому мережевий рівень звільняє вищі рівні від знань про те, через які ділянки мережі або через які мережі проходить маршрут передачі інформації. Основною функцією мережевого рівня є маршрутизація. Вона полягає в прийнятті рішення, через які конкретно проміжні пункти повинен пройти маршрут передавання даних, які направляються з однієї кінцевої системи в іншу, та як має виконуватися комутація між входами та виходами мережевих пристроїв, розташованих у проміжних пунктах мережі. Блоки даних, з якими оперує мережевий рівень, називаються пакетами. Пакет утворюється шляхом додавання до сегмента, переданого з транспортного рівня, заголовка, який містить адресу

мережевого рівня, яка складається з двох частин і ідентифікує як адресу мережі кінцевого користувача, так і самого користувача в ній.

Четвертий (транспортний) рівень забезпечує наскрізну передачу даних між абонентами мережі із заданою якістю обслуговування: максимальний час встановлення з'єднання, пропускна здатність, час затримки сигналу, ймовірність помилки при передачі повідомлень і т.п. Він реалізує процедури і протоколи з'єднання користувачів через базову (магістральну) мережа. Рівень створює зв'язок між нижньою і верхньою групами рівнів: забезпечує наскрізний обмін інформацією між системами. Підтримує такі функції як:

- Сегментація – полягає в розбитті довгих інформаційних повідомлень на блоки даних транспортного рівня – сегменти.

- Адресація полягає в приєднанні додаткової унікальної адреси, яка ідентифікує прикладний процес, який здійснюється в кінцевій системі.

- Встановлення з'єднання – реалізується за допомогою процедури тристороннього квітування. З'єднання встановлюється тільки тоді, коли три події (запит, підтвердження отримання запиту, підтвердження отримання підтвердження) відбуваються в заданий часовий проміжок. Це дозволяє переконатися у тому, що обидва об'єкти транспортного рівня готові до сеансу зв'язку. Якщо дії процедури не вкладаються в заданий проміжок часу, наприклад, через затримку або пошкодження службових пакетів, процедура ініціюється заново. Розрив з'єднання транспортного рівня також контролюється тристороннім квитуванням, що виключає можливість втрати даних користувача у разі, коли одна зі сторін завершила передачу даних, а інша ще залишається активною.

- Керування потоком даних – узгодження параметрів передачі, таких як максимальний розмір сегменту даних для встановленого з'єднання; обсяг вільного простору буфера приймача, в якому розміщуватимуться доставлені сегменти; розмір групи сегментів, після отримання яких приймач повинен надсилати передавачеві підтвердження про прийом.

- Надання даним пріоритетів – є виключною прерогативою транспортного рівня. Нижчий мережевий рівень не знає про існування пріоритетного трафіку й усі пакети (блоки даних мережевого рівня) він сприймає однаковими. Більшість протоколів транспортного рівня підтримують два пріоритети: звичайні дані та термінові. Ідентифікатор призначеного пріоритету розміщується в поле службової інформації транспортного рівня, що приєднуються до сегмента. Алгоритм транспортування при цьому передбачає першочерговість обслуговування буфера термінових даних і тільки після його спустошення – буфера звичайних даних.

- Виявлення та виправлення помилок. Виявлення помилкових пакетів ґрунтується на впорядкуванні сегментів. Для цього кожному сегменту

присвоюється порядковий номер, а в момент відправлення запускається власний таймер. Таймер працює до тих пір, поки не надійде підтвердження (позитивне або негативне) прийому пакета на приймальному кінці. У разі негативного підтвердження, передавач повторює передачу сегмента.

– Відновлення після збоїв.

– Мультиплексування – дозволяє в одному мережевому з'єднанні організувати кілька з'єднань транспортного рівня. Адреса транспортного рівня дозволяє транспортному рівню розрізняти сегменти, адресовані різним прикладним процесам. Перевагою такого мультиплексування є зменшення собівартості транспортування даних у мережі. Проте воно є доцільним тільки в режимі роботи мережі, орієнтованій на встановлення з'єднання (віртуального каналу).

П'ятий – сеансовий рівень забезпечує організацію сеансів зв'язку: керування сеансом зв'язку (сесією), орієнтованим на наскрізну передачу повідомлень, таких, наприклад, як встановлення й завершення сесії; керування черговістю й режимом передачі даних (симплекс, дуплекс, напівдуплекс); синхронізація; керування активністю сесії; складання звітів про надзвичайні ситуації.

На цьому рівні за запитами в мережі створюються порти (Port – інтерфейс для підключення ліній прийому-передачі даних до інших мережних пристроїв) для прийому і передачі повідомлень і організуються з'єднання – логічні канали. Однак, деякі мережі підтримують передачу файлів без встановлення з'єднання.

Шостий (представницький) рівень здійснює інтерпретацію й перетворення даних, що передаються у мережу, до типу, зрозумілого прикладним процесам; забезпечує подання даних в узгоджених форматах і синтаксисі, трансляцію й інтерпретацію програм з різних мов, шифрування й стиснення даних. На практиці багато функцій цього рівня групуються з функціями прикладного рівня, тому протоколи представницького рівня не набули належного розвитку й не використовуються в багатьох мережах.

Сьомий рівень – прикладний. Його головне завдання – надати вже прийнятну інформацію. На цьому рівні реалізується керування загальним доступом до мережі, потоком даних, мережевими службами, такими як FTP, TFTP, HTTP, SMTP, SNMP та ін. З цим зазвичай справляється системне і користувальницьке прикладне програмне забезпечення. Прикладний рівень надає програмістам набір відкритих стандартних інтерфейсів прикладного програмування (Application Programming Interface, API), які можна використовувати для виконання всіх інформаційно-обчислювальних процесів, що надаються користувачеві через транспортну мережу: електронна пошта, телетекст, факс, пакетна передача мови і ін. У результаті модулі прикладних програм виходять меншими за розміром і потребують менше пам'яті.

Чотири нижніх рівня (фізичний, каналний, мережевий і транспортний) надають мережеві послуги, три верхніх (сеансовий, представницький і прикладної) – послуги самим кінцевим користувачам. Як правило, з'єднання між АТС різних типів мереж здійснюється на нижніх рівнях.

Правила взаємодії об'єктів одного рівня, названі **протоколами**, визначають логічну взаємодію об'єктів. У еталонній моделі ВВС прийнята концепція, відповідно до якої взаємодія об'єктів одного рівня забезпечується наданням йому послуг суміжних нижнім рівнем. Правила взаємодії об'єктів суміжних рівнів в одній системі мережі, а також мережевого обміну інформацією називають **інтерфейсами ВВС**.

Важливим процесом передачі даних є інкапсуляція (Encapsulation) даних. Потік даних сформований додатком, що передається, проходить три верхніх мережевонезалежних рівня і надходить на транспортний рівень, де формуються сегменти даних. У заголовку сегмента міститься номер протоколу прикладного рівня, за допомогою якого підготовлено повідомлення та порядковий номер сегмента.



Рисунок 11.3 – Інкапсуляція даних

На мережному рівні до сегменту додається заголовок (header), який містить специфічну для цього рівня інформацію, перш за все, мережеві (логічні) адреси відправника інформації (джерела) – Source Address (SA) та адреса одержувача (призначення) – Destination Address (DA). При цьому формується пакет даних.

На каналному рівні до пакету додається новий заголовок, що містить фізичні адреси джерела та наступного вузла мережі, через який пройде повідомлення та іншу інформацію. При цьому формується кадр даних. Крім того, на цьому рівні додається трейлер кадру, що містить інформацію,

необхідну для перевірки правильності прийнятої інформації. Таким чином, відбувається обрамлення даних заголовками з службовою інформацією, тобто інкапсуляція даних.

Основна інформація, що додається в заголовках повідомлень на різних рівнях OSI представлена в таблиці 11.1.

Таблиця 11.1

Фізичний рівень	Канальний рівень	Мережевий рівень	Транспортний рівень	Верхні рівні
Частотно-часові параметри та синхронізація	Фізичні адреси вузлів джерела та призначення	Логічні адреси вузлів джерела та призначення	Номери портів вузлів джерела та призначення	Спряження користувача з мережею

Модель ISO/OSI дозволяє визначити межі телекомунікаційної та інформаційної мереж у загальній архітектурі зв'язку, а саме: фізичний, канальний, мережевий і транспортний рівні відображають принцип роботи телекомунікаційної мережі; сеансовий, представницький і прикладний – інформаційної мережі.

Чітке визначення інтерфейсів за рівнями дозволяє замінити один протокол рівня на інший без зміни стандартів протоколів суміжних рівнів. У цьому полягає основна цінність моделі OSI.

Модель ISO/OSI є корисною для теоретичних досліджень і розробок нових мереж, хоча протоколи OSI не отримали широкого розповсюдження.

Недоліки моделі OSI. За архітектурою OSI закріпився статус приписної моделі. Це відбулося, по-перше через несвоєчасність появи стандартних протоколів OSI (до моменту їхньої появи розповсюдилися конкуруючі з ними протоколи стеку TCP/IP), а по-друге – через складність і недосконалість моделі (представницький і сеансовий рівні порожні, а мережевий і канальний – перевантажені)

Промисловий стандарт стека протоколів TCP/IP (Transmission Control/Internet Protocol) – це промисловий стандарт стека протоколів, розроблений для глобальних мереж. У протоколі фіксується механізм того, як передається інформація з датчика особі, яка її приймає (або кільком особам).

Для стаціонарних мереж це включає, наприклад, PSTN та ISDN (цифрова мережа інтегрованих послуг). Мережі та послуги комутації пакетів включають в себе, наприклад, GPRS, UMTS (Універсальну систему мобільних телекомунікацій), xDSL, TETRA (Транс'європейський стандарт радіозв'язку з автоматичним розподілом каналів), послуги електронної пошти та інші послуги Інтернет зв'язку. Щодо PLMN, це включає, наприклад, GSM (Глобальну систему для мобільного зв'язку), CDMA, IS41,

FMPS, GPRS, UMTS, TETRA, також застосовується до S-PCS (персональної супутникової системи зв'язку). Стандарти TCP/IP опубліковано в серії документів, названих Request For Comment (RFC).²¹ Документи RFC описують внутрішню роботу Інтернету. На рисунку 11.4 наведено структуру стека TCP/IP у співвідношенні з рівнями моделі OSI. Праворуч на рисунку 11.4 вказано засоби реалізації різних рівнів.

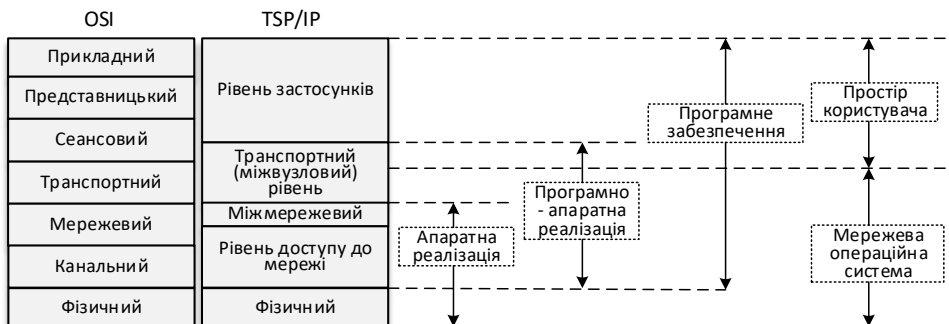


Рисунок 11.4 – Порівняння архітектур TCP/IP і OSI за засобами реалізації різних рівнів

Протоколи стека TCP/IP поділяються на п'ять рівнів.

Найнижчий **фізичний рівень** – відповідає фізичному рівню моделі OSI.

Цей рівень у стеку TCP/IP спеціально не стандартизовано, а тому допускає використання всіх основних стандартів фізичного рівня, які визначають характеристики передавального середовища, швидкості передачі сигналів та схеми кодування сигналів.

Рівень доступу до мережі, пов'язаний з логічним інтерфейсом між кінцевої системою і мережею, є також нерегламентованим. Наприклад, для з'єднання комп'ютера з мережею може використовуватися будь-який стандарт каналного рівня: PPP, Ethernet, ATM і та ін.

Міжмережевий рівень забезпечує функцію маршрутизації при передачі даних від одного хосту до іншого через вузли однієї або декількох логічних мереж.

Основний протокол цього рівня – це протокол IP (Internet Protocol), який підтримується усіма кінцевими системами (хостами) й мережевими комунікаційними пристроями, котрі здійснюють функцію маршрутизації. До допоміжних протоколів цього рівня належать такі:

ICMP (Internet Control Message Protocol) – протокол керування повідомленнями Інтернет, забезпечує можливість шлюзів та маршрутизаторів обмінюватися службовими повідомленнями з хостом-відправником у разі виникнення проблемної ситуації при передачі в мережі;

IGMP (Internet Group Management Protokol) – протокол керування групами, надає великій кількості хостів і маршрутизаторів можливість обмінюватися повідомленнями з груповими адресами в широкошовному режимі;

OSPF (Open Shortest Path First) – протокол визначення першого найкоротшого маршруту при встановленні віртуального (логічного) з'єднання OSI/ISO в інтермережі;

BGP (Border Gateway Protokol) – протокол регламентує процедуру маршрутизації між граничними шлюзами в Інтернеті;

RSVP (ReSerVation Protokol) – протокол резервування комунікаційних ресурсів (смуги пропускання ліній зв'язку) з метою надання необхідної якості обслуговування, підтримується хостами й мережевими комунікаційними пристроями;

RIP (Routing Protokol) – протокол збору маршрутної інформації при топологічних змінах у інтермережі;

ARP (Address Resolution) – протокол розв'язування адресів (встановлює співвідношення між IP-адресом і фізичним адресом вузла).

Транспортний рівень відповідає за виконання функції наскрізної передачі даних і тому реалізується лише в кінцевих системах. Протоколи цього рівня приховують від рівня застосувань подробиці про мережу або мережі, якими транспортуються дані. На цьому рівні виконуються два основні протоколи:

TCP (Transmission Control Protokol) – протокол керування передачею, орієнтований на логічне з'єднання та послідовну передачу блоків даних, котрий містить механізми забезпечення надійності, які дозволяють відстежувати блоки даних і тим самим гарантувати їх коректну доставку застосування адресантові;

UDP (Ustr Datagram Protokol) – протокол датаграм користувачів, який забезпечує швидку, але ненадійну передачу блоків даних, які самостійно переміщуються мережею без встановлення логічного з'єднання.

Рівень застосунків забезпечує зв'язок між прикладними процесами та застосуваннями взаємодіючих хостів. Основні протоколи цього рівня:

FTP (File Transfer Protokol) – протокол передачі файлів;

HTTP (Hyper Text Transfer Protokol) – протокол передачі гіпертекстових файлів;

SMTP (Simple Mail Transfer Protokol) – простий протокол передачі пошти;

TELNET – протокол видаленого входу в систему;

SNMP (Simple Network Management Protokol) – простий протокол мережевого керування;

DNS (Domain Name System) – служба імен доменів або прикладний сервіс в Інтернет-мережі, який дозволяє хостам перетворювати Інтернет-імена в IP-адреси;

MIME (Multipurpose Internet Mail Extensions) – багатоцільові розширення Інтернет-пошти, які підтримують обмін мультимедійними повідомленнями, визначаючи процедури, які дозволяють користувачеві приєднувати до повідомлення електронної пошти файли різних форматів (тексти, зображення, аудіо, відео та цілі програмні застосунки).

На рівні застосунків працюють також багато навігаційних програм (Google, Gopher, Wais, WWW), які забезпечують пошук потрібної інформації в мережі.

Переваги моделі TCP/IP. Стек TCP/IP є лідером, що пояснюється такими його властивостями:

- це найбільш апробований і у той же час популярний стек протоколів, який став стандартом де-факто;
- майже всі існуючі великомасштабні мережі функціонують на основі стека TCP/IP,
- це основний спосіб отримання доступу в Інтернет;
- усі сучасні операційні системи підтримують стек TCP/IP;
- стек TCP/IP є основою гнучкої технології для поєднання різнорідних систем і мереж, як на рівні реалізації транспортної функції, так і на рівні взаємодії прикладних процесів.

Недоліки моделі TCP/IP:

– відсутність розмежувань концептуальних понять інтерфейсу, протоколу та рівневого сервісу, що досить чітко зроблено в моделі ISO/OSI. Внаслідок цього модель TCP/IP не може застосовуватися для розробки нових мереж.

– за допомогою моделі TCP/IP неможливо описати жоден інший стек протоколів, окрім TCP/IP.

– у моделі не диференційовано фізичний та каналний рівні, хоча вони абсолютно різні, що в коректній моделі обов'язково враховується.

На сьогодні мережеві елементи дозволяють будувати повнофункціональні масштабовані мережеві інфраструктури, об'єднуючи комутацію другого і третього рівнів, інтелектуальну маршрутизацію, моніторинг мережевих ресурсів і ряд інших функцій з метою збалансування мережевого навантаження і забезпечення надійності роботи мережі. З цієї причини зусилля розробників мереж зв'язку спрямовані на створення універсального широкосмугового транспортної середовища з множинним доступом для оптимальної роботи мереж передачі змішаного трафіку з інтеграцією послуг.

ТЕМА 12 МЕРЕЖІ СТІЛЬНИКОВОГО ЗВ'ЯЗКУ

Структура стільників та принцип повторного використання частот. Стандарти систем мобільного зв'язку. Архітектура мереж стільникового зв'язку на базі стандарту GSM.

В умовах обмеженого частотного ресурсу була запропонована **стільникова ідеологія** побудови мереж радіозв'язку, що дозволяє використовувати ті ж самі частотні канали в декількох осередках (стільниках), що розміщуються на такій відстані, яка забезпечує усунення взаємних завад. Це має назву частотно-територіального розподілу каналів. Найбільш широке впровадження стільникових систем почалося після того, як були знайдені способи визначення місцезнаходження мобільних абонентів, а також можливість забезпечувати безперервність зв'язку рухомих абонентам при зміні сот і зон обслуговування.

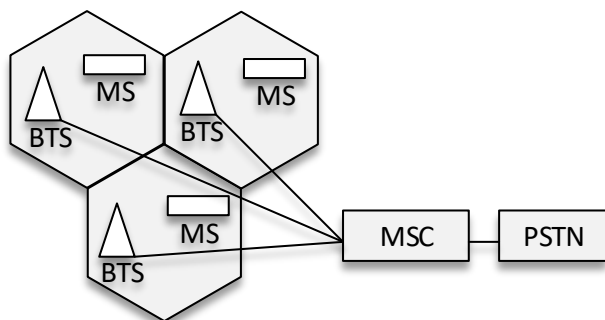


Рисунок 12.1 – Фрагмент стільникової мережі

Ідея стільникового зв'язку (рисунок 12.1, де BTS – базова станція; MS – мобільна станція; MSC – центр комутації мобільної служби; PSTN – телефонна мережа загального користування) полягає в тому, що площа, яка підлягає обслуговуванню, покривається мережею базових прийнятно-передавальних станцій (BTS), кожна з яких працює на відповідних частотних каналах, які в сусідніх чарунках не повторюються. Потужність базових станцій та розміщення (направлення) їх антен вибираються такими, щоб забезпечити радіопокриттям тільки визначену окрему чарунку загальної зони обслуговування. Це дозволяє повторно використовувати такі ж самі частотні канали на базових станціях інших несуміжних стільників, які віддалені на відповідній відстані. При переміщенні мобільної станції (MS) через границю зони обслуговування BTS (стільника) забезпечується автоматичне і непомітне для абонента переключення обслуговування з однієї базової станції на іншу. Зменшення розмірів стільників забезпечує підвищення ефективності використання спектра радіочастот. Загалом

декілька таких станцій охоплюють доволі велику територію, що дозволяє абонентів залишатися на зв'язку, навіть коли він пересувається.

Сучасні технології забезпечують абонентам стільникового зв'язку високу якість мовних повідомлень, передачу даних та зображень. Для цього використовують діапазон дециметрових хвиль (450, 800, 900, 1800, 1900, 2100 МГц).

Структура сот та принцип повторного використання частот.

Для оптимального поділу території обслуговування на комірки, де антени БС мають кругову діаграму спрямованості і розміщуються в центрі комірок, найбільш оптимальною є комірка у вигляді шестикутника, що має вигляд стільника і для якого вплив випромінювання БС на сусідню комірку буде мінімальним. Основним принципом стільникового зв'язку є повторне використання частот у несуміжних стільниках, ідея якого полягає в тому, що в сусідніх стільниках системи використовуються різні частотні канали, а через декілька стільників ці канали повторюються. Це дозволяє при обмеженій загальній кількості каналів охопити системою якзавгодно велику зону обслуговування й істотно підвищити ємність системи.

Кластером називається група сусідніх стільників з різними наборами частотних каналів, в яких представлені всі робочі канали, що виділені даній мережі (важливо: в стільниках одного кластера частотні канали не повторюються). Збільшення числа елементів у кластері, яке вигідне у відношенні зниження рівня співканальних завад, приводить до пропорційного зменшення кількості частотних каналів, які можуть бути використані в одному стільнику. Тому, практично, число елементів у кластері повинне вибиратися мінімально можливим для забезпечення допустимого відношення сигнал/завада. У цьому відношенні більш вигідні кластери з великим числом елементів (наприклад, на рисунку 12.2 зображена схема із семиелементним кластером). На практиці це число може досягати п'ятнадцяти.

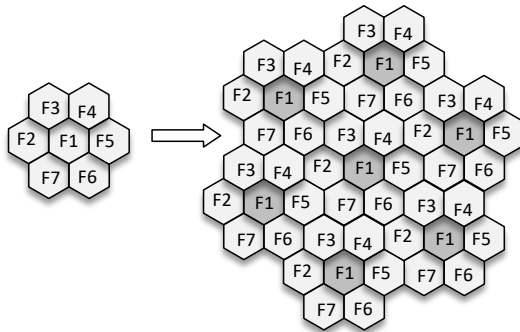


Рисунок 12.2 – Схема із семиелементним кластером

Мобільний доступ абонентам надають оператори стільникового зв'язку.

Розглянемо **найпопулярніші стандарти** (рисунок 12.3), що використовуються в системах мобільного зв'язку.

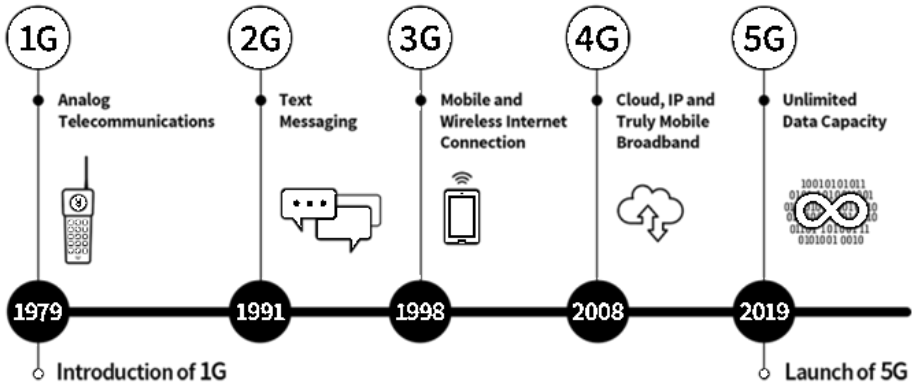


Рисунок 12.3 – Покоління мобільного зв'язку

Стандарти зв'язку в Україні з'явилися в 1993 році. Компанія "УМС" ввела в експлуатацію мобільну мережу стандарту NMT. Цей стандарт належить до мереж першого покоління (1G).

У 1996 році Компанія "Голден Телеком" запустила мережу другого покоління (2G) стандарту GSM. Це була перша мережа GSM у східній Європі.

Наприкінці 2006 року компанія "Телесистеми України" презентувала мережу третього покоління (3G) стандарту CDMA під брендом "PEOPLEnet".

У 2007 році компанія "Укртелеком" під брендом "Utel" ввела в експлуатацію тип мобільної мережі стандарту UMTS. Це мережа третього покоління.

1G – Аналоговий стільниковий зв'язок. До них належать стандарти з аналоговою передачею голосу. Передача даних не передбачена. Вже тоді існували модеми, але на безпроводний зв'язок сильно впливали шуми та спотворювали його, а швидкість передачі даних була повільною, й така послуга була доволі дорогою.

Стандарт стільникового зв'язку NMT (Nordic Mobile Telephone) є аналоговим і належить до мереж першого покоління. Ідея цього стандарту з'явилася ще наприкінці 60-х років минулого століття. Вперше його було введено в дію 1981 року. У NMT визначено 2 діапазони роботи: NMT-450, NMT-900, що працюють у діапазоні частот 450 і 900 МГц відповідно. Основний недолік технології – погана захищеність від перешкод і

прослуховування. Тому, з часом стандарт NMT-450 був модифікований в NMT-450i. У ньому з'явилася система захисту від несанкціонованого доступу до мережі.

Нині понад 40 країн світу використовують системи мобільного зв'язку стандартів NMT-450 і NMT-900. Технологія вже давно морально застаріла, тому все менше операторів використовують її.

2G – Цифровий стільниковий зв'язок. Мережі, в яких голос передається вже в цифровому вигляді. Всі телефонні розмови були зашифровані з допомогою цифрового коду. Також на світ з'явилася всіма улюблена послуга SMS (англ. Short Message Service). На той час головною перевагою 2G вважалася безпека зв'язку. Всі дзвінки вже були зашифровані. Прослухати чужий дзвінок або ж вклинитися в розмову фактично було неможливо.

З появою та розвитком Інтернету спеціально для мобільних мереж було створено **протокол WAP** (англ. Wireless Application Protocol – протокол бездротової передачі даних). WAP протокол – це опис того, як саме дані передаються з мережі Інтернет на мобільний телефон і назад. Послуга дозволяє відображати на екрані стільникового телефону сторінки WAP-сайтів в Інтернеті. WAP-технологія дозволяла здійснювати безпроводний доступ в Інтернет з мобільних пристроїв.

GSM – повністю цифровий стандарт (Global System for Mobile Communications). З 1991 року стандарт GSM почали активно впроваджувати в багатьох країнах світу.

У GSM визначено 4 діапазони роботи: GSM 900, GSM 1800 використовуються країнами Європи та Азії. GSM 850, GSM 1900 – США, Канада, окремі країни Латинської Америки та Африки.

Більшість мобільних телефонів, які продаються в Україні, дають змогу працювати в трьох стандартах зв'язку (900, 1800 і 1900 МГц), відповідно, їх можна використовувати для поїздок на американські континенти. Хоча, для цих цілей краще використовувати чотиридіапазонні телефони, яких останнім часом стає все більше. На сьогодні стандарт GSM використовують оператори понад 200 країн і територій. За даними асоціації GSM (GSMA) на ці мережі припадає близько 82 % світового ринку мобільного зв'язку.

GPRS (General Packet Radio Service) – технологія бездротового пакетного передавання даних у мережах GSM, зі швидкістю до 171,2 Кбіт/сек. На практиці швидкість становить 40-120 Кбіт/сек і залежить в основному від моделі телефону. Іноді обмежується й оператором мобільного зв'язку.

GPRS використовується як для доступу до WAP-сайтів, так і для обміну даними з іншими пристроями в мережі GSM і з зовнішніми мережами, зокрема з Інтернетом. GPRS передбачає тарифікацію за обсягом переданої/отриманої інформації, а не часу. Це стало таким собі «ноу-хау» в

мобільному зв'язку і призвело до значного здешевлення доступу в мережу Інтернет.

EDGE (Enhanced Data for Global Evolution) – технологія високошвидкісної пакетної передачі даних у мережах GSM. За допомогою EDGE можна організувати передачу даних з максимально можливою швидкістю до 473,6 Кбіт/сек. На практиці швидкість становить до 236 Кбіт/сек і залежить від моделі телефону.

З погляду користувача, EDGE дає змогу користуватися доволі «швидким» Інтернет–доступом, що дало змогу широко використовувати EDGE Інтернет у Смартфонах, КПК і Ноутбуках.

Технології GPRS та EDGE вже неможливо було назвати 2G, оскільки вони були набагато швидші, ніж друге покоління, але в той же час не дотягували до третього. Доволі часто GPRS називали поколінням 2,5G, а EDGE – 2,75G.

3G – Основна відмінність між 2G та 3G полягає в тому, що кількість частот в 3G дозволяє одночасно використовувати пакетну передачу цифрових даних та каналне підключення. Отже, це широкосмуговий цифровий стільниковий зв'язок, що комутується багатоцільовими комп'ютерними мережами, зокрема Інтернет. Назва говорить сама за себе. Призначення – передача цифрових даних із більшою швидкістю.

3G поєднує в собі три стандарти цифрового зв'язку – FOMA, UMTS та CDMA2000.

CDMA (Code Division Multiple Access) – цифровий стандарт зв'язку, що використовує технологію кодового поділу каналів. Цей стандарт уперше було запроваджено 1993 року, хоча основні принципи технології було розроблено ще в середині минулого століття.

Діапазон частот, у якому працює стандарт зв'язку CDMA IS–95 – 800 МГц, CDMA PCS – 1900 МГц. Обидві модифікації стандарту належать до мереж другого покоління.

Безперервний розвиток і вдосконалення технології CDMA, призвело до появи стандарту мобільного зв'язку CDMA2000, який відноситься до 3G мереж. Швидкість передавання даних сягає до 2,4 Мбіт/сек. Завдяки раціональному використанню радіочастотного спектра, технологія CDMA є радикальним рішенням подальшої еволюції стільникових систем зв'язку.

UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) – тип мобільної мережі, що належить до покоління 3G. UMTS – це фактично прототип вдосконаленої GSM мережі з радіо інтерфейсом за технологією W-CDMA (Wideband Code Division Multiple Access – широкосмуговий CDMA). Вперше мережа була запущена в жовтні 2001 року.

Ця технологія дає змогу підтримувати швидкість передавання інформації на теоретичному рівні до 21 Мбіт/сек. На цей час реальна швидкість для мобільного абонента досягає 2 Мбіт/сек.

UMTS дозволяє передавати дані зі швидкістю 42 Мбіт/с завдяки протоколу **HSDPA+** (High-Speed Downlink Packet Access). Такий канал допомагає скоротити час очікування під час відкривання сторінки чи скачування файлів. Розміру цього каналу вистачає для того, щоб здійснювати голосові та відеодзвінки через Інтернет, а також переглядати відеозаписи та користуватися іншими мультимедійними сервісами при цьому рухаючись із швидкістю літака. Максимальна теоретична швидкість передачі даних становить 14,4 Мбіт/сек. На практиці швидкість наближається до 7,2 Мбіт/сек. Здавалося б, що таку швидкість можна було б віднести до 4G, але Міжнародний союз електрозв'язку сертифікував зовсім інші вимоги до 4G.

4G. Першою та основною вимогою до четвертого покоління стала швидкість передачі даних. До 4-го покоління відноситься діапазон до 6 ГГц. Ще в 2008 році для 4G було встановлено такі вимоги до швидкості передачі даних: 100 Мбіт/с – для абонентів, які рухаються швидко (потяг чи автомобіль); 1 Гбіт/с – для абонентів, які пересуваються повільно (пішохід).

На відміну від попередників, мережі четвертого покоління не використовують канал для передачі голосу, а працюють лише з цифровими даними. Це означає, що дзвінки перейдуть у формат VoIP, що в майбутньому може спричинити відмирання класичного стільникового зв'язку на користь інтернет-телефонії.

Зараз 4G складається з двох стандартів – **WiMAX та LTE**. WiMAX (англ. Worldwide Interoperability for Microwave Access) – це еволюціонуючий Wi-Fi з великою площею покриття. LTE (англ. Long Term Evolution) – це черговий виток в розвитку GSM. Бездротовий інтерфейс LTE є несумісним з 2G і 3G за сигналами та протоколами. Специфікація LTE дає змогу забезпечити швидкість завантаження до 3 Гбіт/сек, а затримка передачі даних може бути знижена до 2 мілісекунд. Цілком можливо, що вже зовсім скоро 4G замінить провідний Інтернет. Адже встановити одну базову станцію LTE значно простіше, ніж прокладати павутину кабелів.

Зазначимо, що з погляду технічних характеристик в технології 4G немає принципових відмінностей. Істотною відмінністю є лише робота в різних частотних діапазонах

Природно, що на більш низькій частоті радіус стільника буде більшим, також будуть кращі характеристики проникнення радіохвилі та робота в умовах відбиття, що важливо в умовах міської забудови. Для мереж з високою щільністю абонентів щільність розміщення базових станцій буде залежати від завантаження БС і чинники поширення радіо хвилі не будуть мати значного впливу, тобто легко можна використовувати частоти більш високих діапазонів.

5G – п'яте покоління мобільного зв'язку, що діє на основі стандартів телекомунікацій (5G/IMT-2020) та використовує вже від 30 до 300 ГГц.

Технології 5G мають забезпечувати вищу пропускну здатність порівняно з технологіями 4G, що дасть змогу забезпечити більшу доступність широкосмугового мобільного зв'язку, а також використання режимів device-to-device (пряме з'єднання між абонентами), наднадійні масштабні системи комунікації між пристроями, а також менший час затримки, швидкість інтернету 1-2 Гбіт/с, меншу витрату енергії батарей, ніж у 4G-обладнання.

Для вишок 5G характерний менший радіус, розмір і точне регулювання спрямованості, що збільшує ефективність у плані витрати енергії. Через менший розмір антени, тим більшу їх кількість можна встановити на вежу, а значить забезпечити більшу кількість підключень.

Є й негативні сторони розгортання покриття 5-го покоління зв'язку:

- чим вище частота, тим більшого значення набуває пряма видимість між передавальною антеною та підключеним пристроєм. Будь-яка перешкода на шляху може не тільки сильно послабити сигнал, але і звести його нанівець повністю. На якість прийому впливають навіть гідрометеори (дощ, сніг, туман), що поглинають частину енергії;

- чим більша відстань між вежею і пристроєм, тим вираженішим стає негативний вплив перешкод, оскільки сигнал слабшає і гірше справляється з подоланням перешкод на своєму шляху. Падіння потужності в залежності від відстані у 5G набагато більш виражене, ніж у 4G;

- зменшений радіус дії вишок робить розгортання покриття дорожчим;

- встановлення БС вимагає точних розрахунків, щоб уникнути можливих сліпих зон та забезпечити стабільність підключення.

Проте, якщо розглядати технології міжмашинної взаємодії, безпілотного керування, промислової автоматизації, віртуальної та доповненої реальності, Інтернету речей, то технології 4G вже не здатні повною мірою задовольнити їхні швидкісні потреби. 5G дозволить легко підключати більшу кількість пристроїв без суттєвої «просідання» за швидкістю та якістю зв'язку.

Архітектура мереж стільникового зв'язку на базі стандарту GSM.

Розглянемо архітектуру мереж стільникового зв'язку на базі стандарту GSM (рисунок 12.4).

Для діапазону частот 900 МГц і 1800 МГц система GSM має однакову структуру, яка складається з трьох основних субсистем:

- субсистема базових станцій – СБС (**BSS**, Base Station Subsystem); здійснює управління декількома (звичайно 20...30) базовими приймально-передавальними станціями БППС (BTS): управляє розподілом радіоканалів; контролює з'єднання та регулює їх чергу; забезпечує режим зі стрибками частоти; модулює та демодулює сигнали; кодує та декодує повідомлення; кодує мову; здійснює адаптацію швидкості передачі для мови, даних та виклику; формує чергу передачі повідомлень персонального виклику та інші;

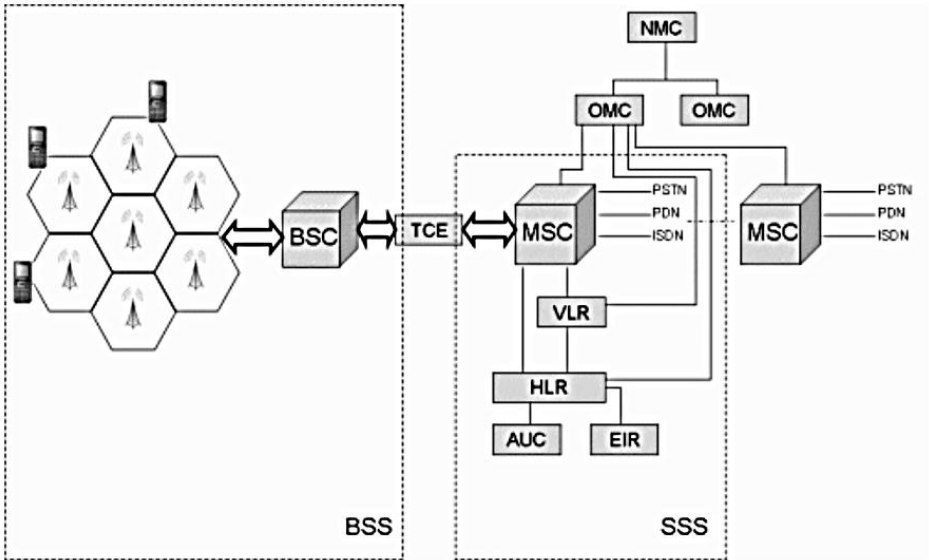


Рисунок 12.4 – Архітектура мережі стандарту GSM

– комутаційна субсистема – КС (**SSS** – Switching Subsystem);
 – субсистема управління та обслуговування (**NMS** – Network Management Subsystem).

– Транскодер TCE (TransCoding Equipment) забезпечує перетворення вихідних сигналів каналу передачі мови та даних з ЦКМС (MSC) (64 кбіт/с ІКМ) до вигляду, який придатний для передачі по радіоінтерфейсу (13 кбіт/с або 6,5 кбіт/с).

Кожна з цих субсистем має у своєму складі відповідні компоненти. Так **субсистема базових станцій** складається з:

– модуля керування базовими станціями – контролера базових станцій – КБС (**BSC** – Base Station Controller);
 – базових приймально-передавальних станцій – БППС (**BTS** – Base Transceiver Station).

Комутаційна субсистема має набір таких модулів:

– центр комутації мобільної служби – ЦКМС (**MSC**–Mobile Switching Center); обслуговує групу стільників та забезпечує всі види з’єднань. ЦКМС є аналогічним ISDN комутаційній станції та представляє собою інтерфейс між фіксованими мережами (PSTN, ISDN, PSPDN) і мережею рухомого зв’язку.

ЦКМС здійснює: маршрутизацію і функції управління викликів; «естафетну передачу» для безперервного зв’язку при переміщенні мобільних станцій (MS) з одного стільника в інший; переключення робочих каналів в

стільнику при появі завад або несправностей; постійне слідкування за мобільними станціями, використовуючи реєстри місцезнаходження HLR і переміщення VLR; формує дані, які необхідні для калькуляції за надані абонентам послуги; складає статистичні дані, які необхідні для контролю роботи і оптимізації мережі; підтримує процедури безпеки, які застосовуються для управління доступом до радіоканалів.

– центр перевірки автентичності (дійсності) абонента – ЦПА (AUC Authentication Centre): перевіряє повноваження абонента та керує його доступом до мережі на основі бази даних, яку містить реєстр автентифікації обладнання (EIR). ЦПА складається з декількох блоків і здійснює формування ключів та алгоритму автентифікації.

– бази даних у складі: реєстра місцезнаходження відвідуваних (візитних) абонентів – РМВА (VLR, Visitor Location Register); реєстра місцезнаходження базових (домашніх) абонентів – РМБА (HLR, Home Location Register); реєстра ідентифікації мобільного обладнання – РІМО (EIR, Equipment Identity Register).

Субсистема управління та обслуговування складається з:

– центра експлуатації та технічного обслуговування – ЦЕ та ТО (ОМС, Operation and Maintenance Centre); є центральним елементом мережі GSM, який забезпечує контроль та управління компонентами мережі та якість її роботи. Він забезпечує: функції обробки аварійних сигналів; реєстрацію відомостей про аварійну ситуацію компонентів мережі; перевірку стану обладнання мережі та проходження виклику мобільної станції; управління навантаженням в мережі. ЦЕ і ТО з'єднуються з іншими компонентами мережі GSM по каналам пакетної передачі (протокол X.25).

– центра управління мережею (NMC, Network Management Center). дозволяє забезпечити раціональне ієрархічне управління мережею GSM. Ця інформація концентрується в адміністративному центрі (ADC).

Функціональне спряження елементів системи здійснюється рядом стандартних інтерфейсів. Це дозволяє використовувати обладнання різних виробників. Всі мережеві функціональні компоненти в стандарті GSM взаємодіють на основі системи сигналізації SS N7, яка використовується як для зв'язку із зовнішніми стаціонарними мережами (PSTN, ISDN, PSPDN), так і для зв'язку з мережею рухомого зв'язку на основі обладнання NMT-450.

ТЕМА 13 ПРОФЕСІЙНІ СИСТЕМИ РУХОМОГО РАДІОЗВ'ЯЗКУ

Транкінгові ПСРР. Архітектура транкінгових систем. Основні стандарти цифрового транкінгового радіозв'язку. Принципи організації пейджингового зв'язку.

Рухомий (мобільний) зв'язок – це електрозв'язок із застосуванням радіотехнологій, під час якого кінцеве обладнання хоча б одного із споживачів може вільно переміщатися в межах усіх пунктів закінчення телекомунікаційної мережі, зберігаючи єдиний ідентифікаційний номер мобільної станції.

За місцезнаходженням абонентських або базових станцій поділяється:

- наземні;
- морські;
- повітряні;
- супутникові;
- комбіновані.

За принципами побудови та призначенням розрізняють наступні системи наземного рухомого зв'язку:

1. Професійні системи мобільного радіозв'язку (PMR – Professional Mobile Radio та PAMR – Public Access Mobile Radio).
2. Системи персонального радіовиклику (Paging System).
3. Системи стільникового зв'язку (Cellular Radio System).
4. Системи бездротової телефонії (СТ – Cordless Telephone або WLL – Wireless Local Loop) та беспроводової передачі даних (Wireless Local Loop) та беспроводової передачі даних.

1) Перші системи (професійні – PMR) відносяться до відомчих. Вони створювалися і розвивалися в інтересах державних структур, швидкої допомоги, поліції, пожежних бригад тощо, а також для комерційних структур. Ці системи різні за своїми технічними характеристиками, діапазонами частот, видами сигналів, потужністю передавачів, що не дозволяло ефективно використовувати частотний спектр.

Професійні СРЗ PMR, як правило, працюють на закріплених частотах в радіонапрямах або радіомережах. Найбільш ефективне використання виділеного частотного ресурсу забезпечується в системах PAMR з вільним доступом абонентів до загального частотного ресурсу, що одержали назву **транкінгових** (від англійського «TRUNK» – магістраль, шина, стовбур). Такі системи мають декілька фізичних (як правило, частотних) каналів, кожний з яких може бути наданий на сеанс зв'язку любому абоненту цієї системи. Після закінчення розмови цим каналом може скористатися інший абонент системи. Зв'язок здійснюється через базову станцію (БС) (хоча є можливість працювати в групі без БС, якщо дозволяє дальність зв'язку). Звичайно прагнуть максимально збільшити зону дії, яка може досягати

40...50 км і більше, що вимагає в порівнянні зі стільниковим зв'язком більшої потужності передавачів (як БС так і абонентських терміналів), більшої втрати енергії джерел живлення, великі габарити і масу абонентських терміналів (АТ). Ці системи працюють в діапазоні метрових і дециметрових хвиль. Транкінгові системи широко використовуються силовими і правоохоронними структурами, службами безпеки, транспортними й енергетичними компаніями різних країн для забезпечення зв'язку рухомих абонентів між собою, зі стаціонарними абонентами й абонентами телефонної мережі загального користування.

Кількість зон. У залежності від кількості базових станцій і загальної архітектури розрізняють **однозонові і багатозонові** системи. Перші обладнуються лише однією базовою станцією, другі – декількома БС із можливістю роумінгу.

Метод об'єднання базових станцій у багатозонових системах. Базові станції в транкінгових системах можуть поєднуватися за допомогою єдиного комутатора (системи з **централізованою комутацією**), а також з'єднуватися один з одним безпосередньо чи через мережі загального користування (**системи з розподіленою комутацією**).

Кількість фізичних каналів для з'єднання. Абонентські станції можуть працювати у дуплексі (одночасний прийом та передача), або у напівдуплексі (для передачі та прийому використовують різні канали, але одночасний прийом та передача не можливі).

Узагальнена структурна схема однозонової транкінгової системи зображена на рисунку 13.1.

Інфраструктура транкінгової системи представлена **базовою станцією (БС)**, до складу якої, крім радіочастотного обладнання (ретрансляторів, пристроїв об'єднання радіосигналів, антен), входять також комутатор, пристрій керування (контролер) та інтерфейси різних зовнішніх мереж.

Ретранслятор – набір прийомопередавального обладнання, яке обслуговує одну пару несучих частот.

Анени. Найважливіший принцип побудови транкінгових систем полягає в тому, щоб створювати зони радіопокриття настільки великими, наскільки це можливо. Тому антени базової станції, як правило, розміщуються на високих спорудах чи щоглах, мають кругову діаграму спрямованості. Зрозуміло, що при розташуванні базової станції на краю зони, застосовуються спрямовані антени. Базова станція може бути обладнана як єдиною прийомопередавальною антеною, так і роздільними антенами для прийому і передачі. У деяких випадках на одній щоглі можуть розміщуватися кілька прийомних антен для боротьби із завмираннями, які викликані багатоприменовим розповсюдженням радіохвиль.

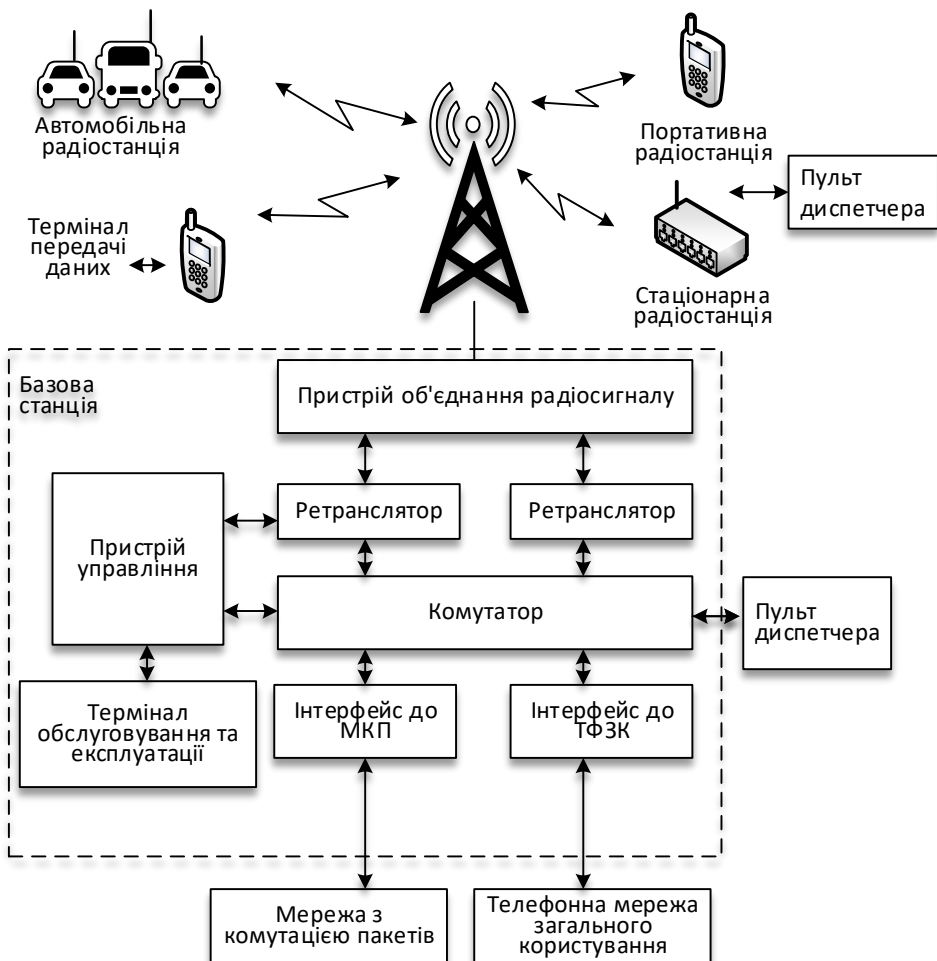


Рисунок 13.1 – Структурна схема однозонової транкінгової системи

Пристрій об'єднання радіосигналів дозволяє використовувати одне й те саме антенне устаткування для одночасної роботи приймачів і передавачів на декількох частотних каналах. Ретранслятори транкінгових систем працюють тільки в дуплексному режимі, причому рознесення частот прийому і передачі (дуплексне рознесення) в залежності від робочого діапазону складає від 3 МГц до 45 МГц.

Комутатор в однозоновій транкінговій системі обслуговує весь її трафік, включаючи з'єднання рухомих абонентів з телефонною мережею загального користування (ТФЗК) і усі виклики, пов'язані з передачею даних.

Пристрій управління забезпечує взаємодію всіх вузлів базової станції. Він також обробляє виклики, здійснює автентифікацію абонентів,

які викликають (перевірку "свій–чужий"), ведення черг викликів і внесення записів у бази даних погодинної оплати. У деяких системах цей пристрій регулює максимально припустиму тривалість з'єднання з телефонною мережею. Як правило, використовуються два варіанти регулювання: зменшення тривалості з'єднань у заздалегідь задані години найбільшого навантаження чи адаптивна зміна тривалості з'єднання в залежності від поточного навантаження.

Інтерфейс ТфЗК реалізується в транкінгових системах різними способами. У недорогих системах (наприклад, SmarTrunk) підключення може реалізовуватись по двопровідних лініях, що комутуються. Більш сучасні ТСЗ мають у складі інтерфейсу до ТфЗК апаратуру прямого набору номера DID (Direct Inward Dialing), що забезпечує доступ до 67 абонентів транкінгової мережі з використанням стандартної нумерації АТС. З'єднання з ТфЗК є традиційним для транкінгових систем, але останнім часом усе більш зростає число додатків, що припускають передачу даних, у зв'язку з чим наявність інтерфейсу до МКП також стає обов'язковою.

Термінал технічного обслуговування й експлуатації (термінал ТОЕ) розташовується, як правило, на базовій станції однозонової мережі. Термінал призначений для контролю за станом системи, проведення діагностики несправностей, обліку тарифікаційної інформації, внесення змін у базу даних абонентів. Переважна більшість транкінгових систем, що випускаються і розроблюються, мають можливість віддаленого підключення терміналу ТОЕ через ТфЗК чи МКП.

Диспетчерський пульт. Необов'язковими, але дуже характерними елементами інфраструктури транкінгової системи є диспетчерські пульти. Справа в тому, що транкінгові системи використовуються в першу чергу тими споживачами, чия робота не обходиться без диспетчера. Це служби охорони правопорядку, швидка медична допомога, пожежна охорона, транспортні компанії, муніципальні служби. Диспетчерські пульти можуть включатися в систему по абонентських радіоканалах, чи підключатися по виділених лініях безпосередньо до комутатора базової станції. Слід зазначити, що в рамках однієї транкінгової системи може бути організовано кілька незалежних мереж зв'язку, кожна з яких може мати свій диспетчерський пульт. Користувачі кожної з таких мереж не будуть помічати роботи сусідів і, що не менш важливо, не зможуть втручатися в роботу інших мереж.

Абонентське устаткування транкінгових систем містить у собі широкий набір пристроїв. Як правило, найбільш численними є напівдуплексні радіостанції, тому що саме вони найбільшою мірою підходять для роботи в замкнених групах. В більшості це радіостанції з обмеженим числом функцій, що не мають цифрової клавіатури. Їхні користувачі, як правило, мають можливість зв'язуватися лише з абонентами

усередині своєї робочої групи, а також посилати екстрені виклики диспетчеру. Випускаються і напівдуплексні радіостанції із широким набором функцій і цифровою клавіатурою, але вони, будучи трохи дорожчими, призначені для більш вузького привілейованого кола абонентів. У транкінгових системах, особливо розрахованих на комерційне використання, застосовуються також дуплексні радіостанції, що скоріше нагадують стільникові телефони, але мають значно більшу функціональність у порівнянні з останніми. Як напівдуплексні, так і дуплексні транкінгові радіостанції випускаються не тільки в портативному, але й в автомобільному виконанні. Як правило, вихідна потужність передавачів автомобільних радіостанцій у 3...5 разів вища, ніж у портативних радіостанцій.

Відносно новим класом пристроїв для транкінгових систем є **термінали передачі даних**. В аналогових транкінгових системах термінали передачі даних – це спеціалізовані радіомодеми, що підтримують відповідний протокол радіоінтерфейсу. Для цифрових систем більш характерне вбудовування інтерфейсу передачі даних в абонентські радіостанції різних класів. До складу автомобільного терміналу передачі даних іноді включають і супутниковий навігаційний приймач системи GPS (Global Positioning System), призначений для визначення поточних координат і наступної передачі їх диспетчеру на пульт. У транкінгових системах використовуються також стаціонарні радіостанції, переважно для підключення диспетчерських пультів. Вихідна потужність передавачів стаціонарних радіостанцій приблизно така ж, як в автомобільних радіостанціях.

Отже, можна виділити кілька найважливіших архітектурних ознак, які властиві транкінговим системам:

1. Обмежена і недорога інфраструктура. У багатозонових транкінгових системах вона більш розвинена.

2. Широкий набір абонентського устаткування дозволяє транкінговим системам охопити практично весь спектр потреб корпоративного споживача в рухомому зв'язку.

3. Транкінгові системи дозволяють на базі своїх каналів організувати незалежні виділені мережі зв'язку (частки віртуальної мережі). Це означає, що кілька організацій можуть спільними зусиллями розгорнути єдину систему замість установки окремих систем. При цьому досягається відчутна економія радіочастотного ресурсу, а також зниження вартості інфраструктури.

4. Економічне використання радіоспектру.

5. Можливість виходу в інші системи зв'язку (наприклад, в телефонну мережу загального користування).

6. Більш висока оперативність зв'язку (наявність режиму безпосереднього зв'язку між абонентами без базової станції).

Усе сказане вище свідчить про міцність позицій транкінгових систем у корпоративному секторі ринку систем і засобів рухомого зв'язку.

Цифрові системи у порівнянні з аналоговими забезпечують ряд переваг за рахунок реалізації вимог по підвищеній оперативності і безпеці зв'язку, наданню широких можливостей по передачі даних, більш широкому спектру послуг зв'язку (включаючи специфічні послуги зв'язку для реалізації спеціальних вимог служб суспільної безпеки), можливостям організації взаємодії абонентів різних мереж.

До найбільш популярних, що мають міжнародне визнання, **стандартів цифрового транкінгового радіозв'язку**, на основі яких у багатьох країнах розгорнуті системи зв'язку, відносяться:

- EDACS, розроблений фірмою Ericsson, реалізуються в діапазонах 138-174, 403-423, 450- 470 і 806-870 МГц;

- TETRA, розроблений Європейським інститутом телекомунікаційних стандартів, теоретично забезпечують можливість роботи в дуже широкому діапазоні (150...900 МГц);

- APCO 25, розроблений Асоціацією офіційних представників служб зв'язку органів суспільної безпеки, забезпечують можливість роботи у всіх діапазонах, відведених для рухомого радіозв'язку;

- Tetrapol, розроблений фірмою Matra Communication (Франція), обмежує верхню частоту своїх систем на рівні 520 МГц;

- iDEN розроблений фірмою Motorola (США).

Ці стандарти дозволяють створювати різні конфігурації мереж зв'язку та забезпечують різні режими передачі мови (індивідуальний зв'язок, груповий зв'язок, широкомовний виклик і т.п.) і даних (комутація пакетів, передача даних з комутацією ланцюгів, короткі повідомлення і т.п.).

Представлені цифрові стандарти забезпечують високу оперативність зв'язку (час доступу для всіх систем - не більше 0,5 с) і передбачають можливості підвищення надійності мереж радіозв'язку за рахунок гнучкої архітектури. Стандарти дозволяють реалізувати захист інформації. Вони передбачають можливість використання як стандартного алгоритму шифрування, так і оригінальних алгоритмів за рахунок наскрізного шифрування.

При виборі стандарту радіозв'язку обов'язково необхідно враховувати інформацію про те, яким є стандарт: відкритим або корпоративним (закритим). Корпоративні стандарти (EDACS і Tetrapol) є власністю їхніх розробників. Придбання устаткування можливе тільки в обмеженого кола виробників. Відкриті стандарти, до яких відносяться MPT 1327, TETRA і APCO 25, забезпечують створення конкурентного середовища, залучення великої кількості виробників базового устаткування, абонентських радіостанцій, тестової апаратури для випуску сумісних радіозасобів, що сприяє зниженню їхньої вартості. Доступ до специфікацій стандартів

надається будь-яким організаціям і фірмам, що вступили у відповідну асоціацію. Відкриті стандарти користаються підтримкою з боку державних і правоохоронних структур, великих компаній багатьох країн світу, а також підтримуються ведучими світовими виробниками елементної і вузлової бази.

Відомчі системи радіозв'язку. Принципи організації пейджингового зв'язку.

Системи персонального радіовиклику (СПРВ) гармонійно поєднують системи радіозв'язку і передачі даних. Персональний радіовиклик (пейджинг) – це послуга електрозв'язку, яка забезпечує безпроводову однібічну передачу інформації (цифрової або текстової) у межах зони, що обслуговується. По своєму призначенню розділяються на відомчі і загального користування.

Передача повідомлень на абонентські приймачі (пейджер) здійснюється диспетчерами через базову станцію. Пейджері здійснюють прийом тільки тих повідомлень, що їм адресовані. Радіус зони дії системи може досягати 100 км. Використовуються метрові і дециметрові хвилі. Для значних територій СПРВ використовують діапазони метрових і дециметрових хвиль. У різних системах звичайно використовуються смуги частот, прилягаючі до: 30, 80, 160, 300 і 450 МГц. Конкретні частоти виділяються в залежності від національних умов використання СПРВ і виду повідомлень, що передаються.

Абонент СПРВ використовує малогабаритний приймач (пейджер), що має індивідуальний номер (адресу). У найпростішому випадку виклик передається по телефонній мережі оператору на центральну станцію, перетворюється в кодований радіосигнал і передається на виділеній для СПРВ частоті абоненту.

Якщо радіус дії для одного передавача центральної станції не дозволяє обслужити всю необхідну територію, то вона розбивається на окремі зони, у кожній з яких є свій радіопередавач. Сигнал виклику тривалістю 1...2 с передається всім пейджерам, однак спрацює тільки той із них, що підстроений на визначену частоту і має відповідну адресу. Як правило, обов'язковою й основною є підготовка повідомлень за допомогою операторів. Для відправлення повідомлення абонент дзвонить оператору пейджерної компанії, що приймає повідомлення і готує його до наступної передачі. У великих СПРВ використовується не один оператор, а створюється мережа робочих місць операторів, що забезпечує всім операторам можливість взаємно незалежної й одночасної передачі повідомлень. Є також служба віддаленого доступу, що містить у собі службу винесених робочих місць операторів і службу передачі повідомлень, що надходять по комп'ютерних мережах зв'язку. Служба винесених робочих місць операторів дозволяє надати вилучений доступ у СПРВ різним

підприємствам. На них пейджерна компанія встановлює винесене робоче місце чи оператора мережі робочих місць з комп'ютерами; при цьому співробітники можуть передавати свої повідомлення операторам, що знаходяться безпосередньо на підприємстві. Служба комп'ютерного розсилання повідомлень забезпечує відправлення повідомлень по існуючим комп'ютерним мережам, а також дозволяє сполучити послуги електронної пошти з послугою передачі повідомлення про надходження листа.

При цьому даний пейджер приймає повідомлення і відображає його на дисплеї. Сигнал виклику і повідомлення може передаватися циркулярно декільком абонентам. Розвитком цієї служби є служба, що дозволяє передавати без участі оператора стандартні текстові повідомлення, кожному з яких привласнюється свій цифровий код. Для передачі звукових повідомлень існує служба голосової пошти: текст повідомлення вводиться в комп'ютер, що перетворює його в цифрову форму. Потім це повідомлення передається по комп'ютерних мережах, знову перетворюється в приймальному комп'ютері в звукове повідомлення, що і прослуховує абонент.

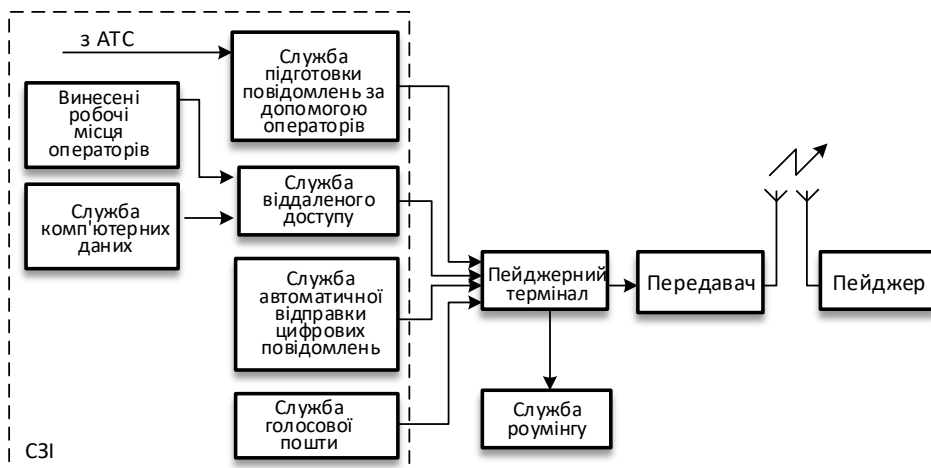


Рисунок 13.2 – Структура служби пейджерного зв'язку

Вони характеризуються рядом недоліків, основними з яких є:

- обмеженість зони обслуговування;
- нераціональне використання наявного частотного ресурсу;
- неможливість істотного збільшення числа абонентів, що обслуговуються, через появу взаємних завад.

ТЕМА 14 ОРГАНІЗАЦІЯ ПОБУДОВИ СУПУТНИКОВИХ СИСТЕМ ЗВ'ЯЗКУ

Системи фіксованого супутникового зв'язку. Технології DVB, Frame Relay, SCPC, VSAT. Глобальна супутникова система Starlink. Супутникова система навігації.

У регіонах з недостатньо розвинутою телекомунікаційною інфраструктурою реальною альтернативою наземним каналам є організація високошвидкісного доступу в Інтернет через супутник.

Фіксовані супутникові служби призначені для організації зв'язку з нерухомими наземними станціями і зазвичай будуються на базі супутників–ретрансляторів, що запускаються на геостаціонарну орбіту.

Послуги фіксованого супутникового зв'язку надають п'ять великих міжнародних організацій: Intelsat, Intersputnik, Eutelsat, Arabsat і AsiaSat і близько 50 регіональних і національних компаній. Серед них безперечним лідером є міжнародна система Intelsat. Серйозну конкуренцію складають також міжнародні комерційні супутникові системи PanAmSat і Orion, що забезпечують безперервне покриття основних регіонів Земної кулі.

До систем фіксованого супутникового зв'язку відносяться:

– Системи розподілу радіо- і телевізійних програм (широкомовлення) – займають до 80% ресурсів геостаціонарних супутникових систем. Як приклади таких систем можна назвати супутники Intelsat, Astra, DirectTV, що працюють з антенами діаметром 45–90 см.

– Системи телефонного зв'язку (віддаленого доступу до телефонних мереж). Як приклад, можна навести систему Intelsat, через 25 супутників якої передається приблизно 2/3 міжнародного телефонного трафіку.

– Супутникові магістральні системи, для організації каналів між великими вузлами (опорні мережі). Як приклади магістральних систем можна назвати супутники "Обрій" і "Експрес", що є малопотужними магістральними системами, для роботи з ними необхідні антени розміром 4,5–12 м. До систем середньої потужності можна також віднести супутники "Експрес–М", "Купон", "Ямал", що дозволяють використовувати для роботи з ними невеликі наземні станції з антенами діаметром 1,2–2,4 м.

– Системи передачі даних, корпоративні мережі передачі даних, створюються переважно на основі геостаціонарних систем. Основне призначення системи – надання послуг широкополосного доступу до Інтернет, а також побудова корпоративних мереж.

В системі супутникового зв'язку можна виділити чотири основних частини:

- 1) космічний сегмент;
- 2) сигнальна частина;

- 3) наземний сегмент;
- 4) користувацький сегмент.

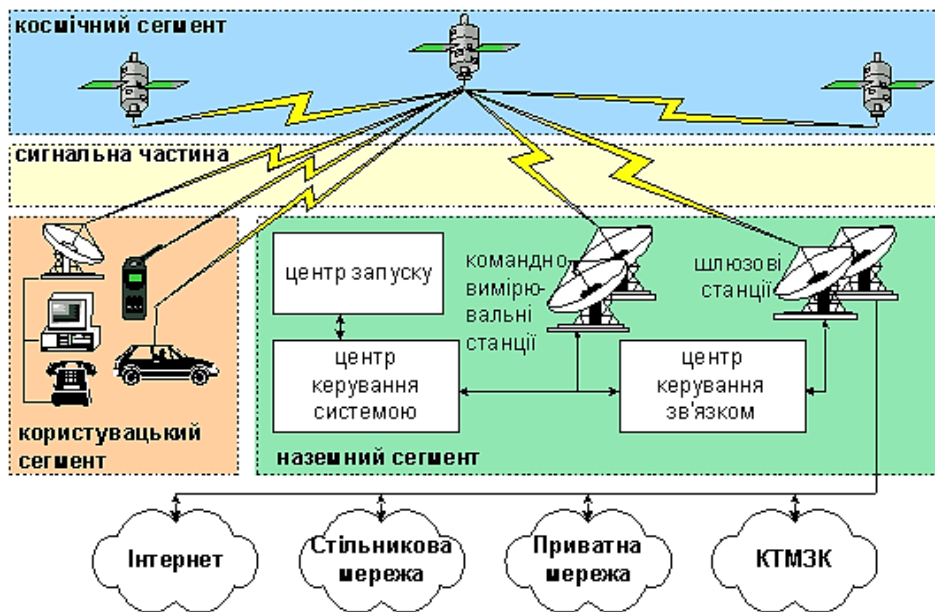


Рисунок 14.1 – Загальна структура системи супутникового зв'язку

Космічний сегмент охоплює завдання проектування супутника, розрахунку орбіти і запуску супутника. Сюди входить один або декілька супутників-ретрансляторів. Розмір і вага супутника обмежені в основному можливостями транспортних засобів (ракет-носіїв), вимогами до сонячних батарей і обсягами палива для життєзабезпечення (зазвичай, протягом десяти років).

Основними характеристиками супутників зв'язку є кількість радіочастотних каналів (ретрансляторів) чи стовбурів, потужність передавачів у кожному стовбурі, кількість і розміри зон обслуговування. Для зменшення взаємних перешкод передача сигналу із супутника (Downlink) ведеться на частоті, відмінній від частоти передачі сигналу з землі на супутник (Uplink). Тому ретранслятори супутника мають у своєму складі перетворювачі частоти. Зазвичай частота Downlink нижче, ніж лінії Uplink.

Сигнальна частина займається завданнями визначення використовуваного спектру частот, впливу відстані на організацію і підтримку зв'язку, джерела інтерференції сигналу, схеми модуляції і протоколи передачі.

Наземний сегмент включає розміщення і конструкцію наземних станцій, типи антен, використовуваних для різних додатків, схеми мультиплексування, що забезпечують ефективний доступ до каналів супутника. До складу будь-якої наземної станції входить радіочастотне і каналоутворююче устаткування. До радіочастотного устаткування відносяться : антени НВЧ -діапазону - для прийому та ретрансляції сигналів; транспондери - прийомо-передавачі. Каналоутворююче устаткування визначає принципи роботи наземної станції і всієї мережі і працює за певними стандартами. До каналоутворюючого устаткування відносяться пакетні модеми. Для кодування сигналу при передачі використовується два методи - FDM - мультиплексування з розділенням частот, і TDM - мультиплексування з часовим розділенням.

До користувацького сегменту входить абонентське устаткування.

Ширина смуги (bandwidth) супутникового каналу характеризує кількість інформації, що він може передати в одиницю часу. Типовий супутниковий прийомопередавач має ширину смуги 36 МГц на частотах від 4 МГц до 6 МГц. Таких прийомопередатчиків на супутнику встановлюється від 12-24, що дає в результаті від 432 до 864 МГц.

Існує два варіанти організації доступу в Інтернет за допомогою систем супутникового зв'язку:

- Симплексний (передача інформації через спутниковий канал лише в одному напрямку – до користувача).

- Дуплексний (передача інформації через спутниковий канал здійснюється в обох напрямках).

На сьогоднішній день найбільш розповсюдженим варіантом є симплексний канал чи Інтернет мовлення (IP-broadcasting). Для організації таких каналів використовуються супутникові системи розподілу радіо- і телевізійних програм (DVB- технологія).

1) DVB-технологія

Системи на базі DVB (digital video broadcast) технології одержали широке поширення з початком ери цифрового телебачення і появою самого протоколу DVB. Перша система на базі цієї технології для інтернет-мовлення DirecPC з'явилася у 1998 році і мала успіх у США і Західній Європі. Серед інших подібних систем можна назвати: Speedcast, Heliosnet, НТВ-Інтернет, IP-Advantage.

Передача супутникового сигналу в цьому випадку ведеться тільки в одну сторону, до клієнта, а зворотний канал організований по «землі» (рисунок 14.2). Пропускна здатність супутникового каналу – до 45 Мбіт/с, наземного каналу – 9,6...33.6 кбіт/с. Оскільки клієнтський трафік має високу асиметричність (1 від клієнта та 7–10 до клієнта), то така організація зв'язку є досить ефективною.

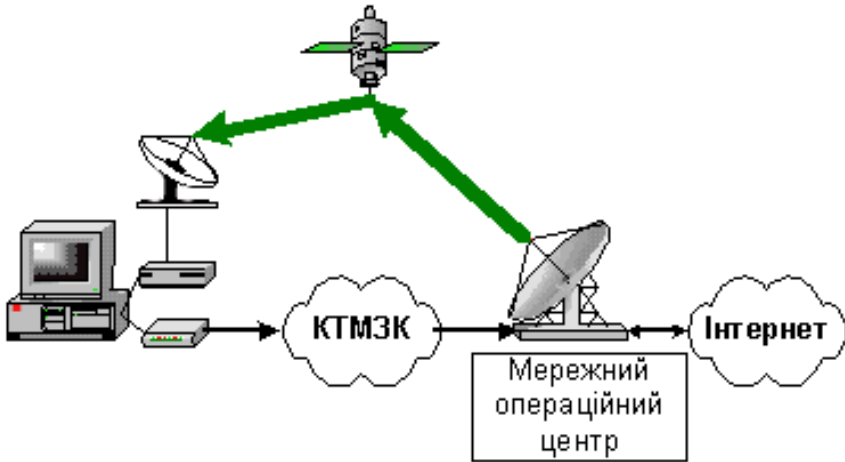


Рисунок 14.2 – Система супутникового зв'язку DVB

Основні клієнти такої послуги – SOHO (small office – home office, тобто маленькі компанії, та домашні користувачі).

2) Особливістю використання протоколу **Frame Relay** в супутникових мережах є те, що він має широкі можливості по розподілу фізичного каналу передачі на незалежні віртуальні канали, у кожному з яких передається свій потік інформації на відміну від протоколу DVB, що не має гнучких засобів керування і резервування пропускнуої здатності. Якщо ж канал не завантажений, то вільною смугою можуть користуватися всі, досягаючи швидкостей у кілька разів більших, ніж обговорена мінімальна.

Крім цього, протокол Frame Relay може здійснювати транспорт не тільки IP, але й інших типів трафіку, наприклад, X.25, Ethernet Bridge, Voice over FR що розширює область застосування каналів broadcast на основі Frame Relay. Для реалізації такої функції в DVB- системі на прийомній стороні потрібно додатковий маршрутизатор і досить дорогий пристрій – демультиплексор DVB.

Швидкість у супутниковому каналі варіюється з 32 Кбіт/с до 8 Мбіт/с.

Серед рішень на основі Frame Relay можна назвати IP Multicasting. Дана технологія орієнтована на ISP (регіональних) і корпоративних клієнтів. Безумовно, використання такої супутникової мережі не забезпечить дуже низьких цін на Інтернет для тих, хто підключений до прийомних абонентських станцій. Однак вона надасть високошвидкісний доступ до Інтернет у тих місцях, де іншої альтернативи просто немає.

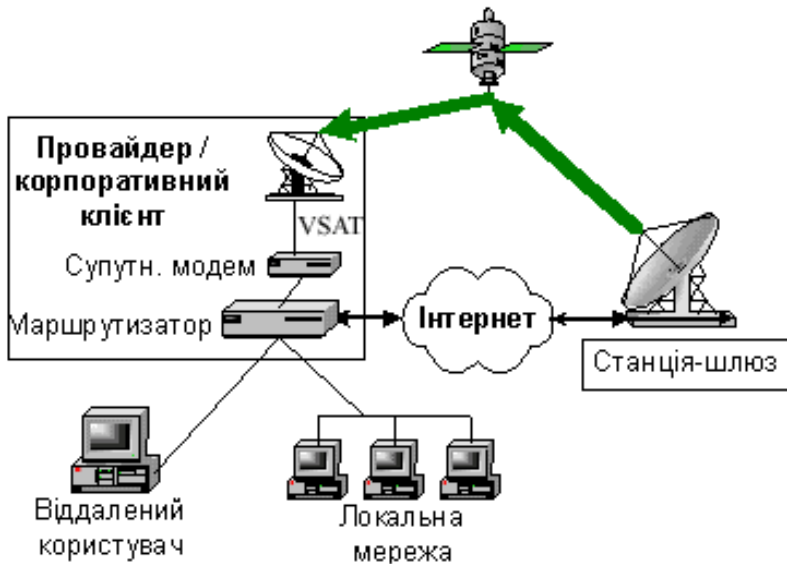


Рисунок 14.3 – Система зв'язку Frame Relay

Технології дуплексного супутникового доступу в Інтернет.

3) SCPC технологія.

Найстарішим рішенням двостороннього супутникового Інтернет є дуплексні SCPC канали, включені за схемою «точка-точка» (рисунок 14.4).

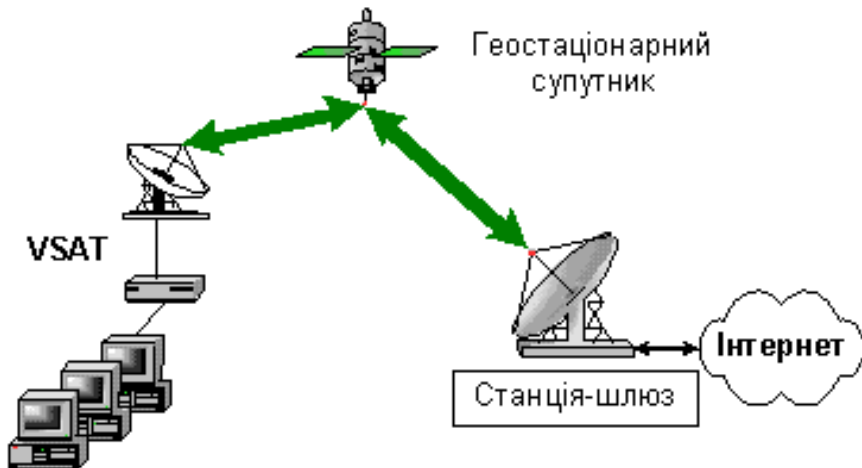


Рисунок 14.4 – Система зв'язку з технологією SCPC

Висока ціна з розрахунку на один абонентський вузол не дозволяє будувати на даній технології регіональні мережі. Дуплексні SCPC канали

використовуються відносно великими провайдерами при відсутності наземних каналів або як резервний канал.

4) Технології для **VSAT-мереж** з топологією «зірка».

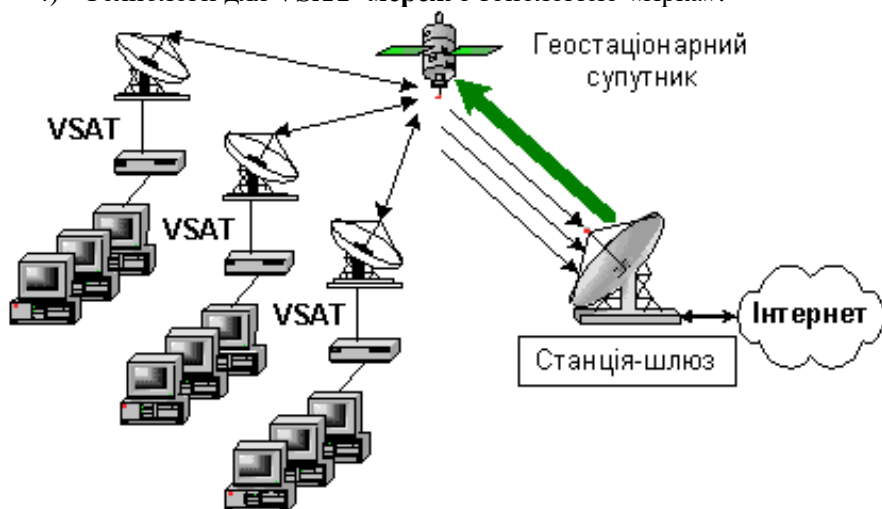


Рисунок 14.5 – Система зв'язку мережі VSAT

В даний час ринок пропонує деяку кількість мережних технологій з різними методами доступу (TDMA, DAMA, FTDMA) до космічного сегмента. Як правило, вони мають топологію «зірка». У мережі існує центральна станція, що сполучає в собі функції шлюзу в зовнішній мережі і центру керування, а також невеликі абонентські термінали. Інвестиційний поріг для потенційного провайдера такого сервісу знаходиться в районі одного мільйона доларів США.

Віддалений абонентський термінал має наступні характеристики: – прийом до 8 Мбіт/с, зворотний канал до 128 Кбіт/с, можливість організації телефонії і передачі факсу.

Для конфігурації і моніторингу мережі використовуються системи керування (NMS), що встановлюються на центральній наземній станції. Основні функції – перерозподіл ресурсів між користувачами, керування віддаленими станціями, контроль поточного статусу компонентів мережі. Засобами NMS забезпечується збір і первинна обробка статистичних даних про мережу. Системи керування і моніторингу будуються на основі SNMP агентів, встановлених на кожному віддаленому терміналі.

Глобальна супутникова система Starlink. Starlink – проєкт американської компанії SpaceX щодо розробки високопродуктивної супутникової платформи для виготовлення супутників зв'язку та запусків великої їх кількості (сузір'я) у космос. Система надає доступ до ширококутового Інтернету у будь-якій точці планети. Першою компанія

почала обслуговувати Канаду та США у 2020 році. Супутники, завдяки застосуванню платформи, виробляються серійно (~120 штук на місяць), тому коштують значно менше подібних, але випущених в одиничній версії. Вони належать до класу малих і важать ~260 кг. На відміну від більш поширених наразі кубічних сателітів, мають значно плоскішу форму та є стійкішими до пошкоджень. Це дозволяє поміщати їх велику кількість (60 шт.) всередині ракети та здійснювати їх від'єднання у космосі без наявності спеціального механізму для кожного із них. Замість двох стандартних сонячних панелей Starlink має одну велику, потужністю 3 кВт.

Обіцяна швидкість передачі даних – 1 Гбіт/с для кожного споживача. Щоразу запуск 60 супутників може забезпечити 1 терабіт пропускної здатності, що потенційно може підтримувати 40 000 користувачів, які одночасно передають контент високої якості. Зазвичай зв'язок із геостационарним супутником має мінімальну кругову затримку сигналу (туди–назад) у 239 мс, але іноді вона може сягати і 600 мс. Супутники Starlink будуть обертатися на висоті в 1/30 цієї відстані, тому затримка сигналу становитиме лише 25–30 мс, що еквівалентно з кабельним або оптоволоконним зв'язком. SpaceX навіть намагається досягти величини у 10 мс. Система використовуватиме протокол peer-to-peer.

На відміну від супутникового зв'язку через Iridium Satellite Constellation, сигнал від якого подається безпосередньо у телефон, система Starlink потребуватиме додаткового термінала (супутникової тарілки із роутером), що відстежуватиме супутники за допомогою фазованої антенної решітки, яку рухатиме вбудований моторчик. Встановлювати його потрібно, спрямувавши у небо.

Для безпосереднього під'єднання до всесвітньої мережі SpaceX потребує встановлення сотень наземних станцій обробки даних. Але ця кількість є незначною завдяки наявності багатьох супутників. Адже вони у випадку відсутності поблизу від користувача такої станції за допомогою лазера швидко передаватимуть одне одному інформацію, аж поки якийсь із супутників зможе “побачити” необхідну станцію. І саме це потрібно для малозаселених територій. Термінал Starlink-2 є наземним елементом глобальної супутникової системи Starlink і служить для підключення до Інтернету бездротовим способом термінального обладнання користувачів.

Системи визначення власного місцезнаходження.

Супутникова система навігації (GNSS – Global Navigation Satellite System) – це комплексна електронно-устаткування та призначена для визначення місцеположення (географічних координат і висоти), а також параметрів руху (швидкості, напрямку руху, і т. і.) для наземних, водних і повітряних об'єктів.

Ці системи мають подвійне призначення. Спочатку вони були розроблені на замовлення і під контролем військових для потреб

Міністерств оборони відповідних країн і тому перше, і основне призначення систем – стратегічне, друге призначення – цивільне. Крім того слід відмітити, що на особливий період (військові дії, терористичні акти тощо) Міністерства оборони країн, які є власниками цих систем, можуть приймати рішення про повне відключення послуги навігації для цивільних. Виходячи з цього, всі діючі нині супутники навігаційних систем передають два види сигналів: стандартної точності для цивільних користувачів і високої точності для військових користувачів (цей сигнал закодований і доступний тільки при наданні відповідного рівня доступу від Міністерства оборони).

Основними елементами супутникової системи навігації є:

- орбітальне угруповання (космічний сектор), що складається з декількох (від 2 до 30) супутників, які випромінюють спеціальні радіосигнали;

- наземна система управління і контролю, що включає блоки вимірювання поточного положення супутників і передачі на них отриманої інформації для корегування інформації про орбіти;

- приймальне абонентське обладнання (сектор користувача – «супутниковий навігатор»), яке використовується для визначення місцеположення і додаткової інформації;

- наземна система радіомаяків, що дозволяє значно підвищити точність визначення координат (опціонально);

- інформаційна радіосистема для передачі користувачам поправок, що дозволяє значно підвищити точність визначення координат (опціонально).

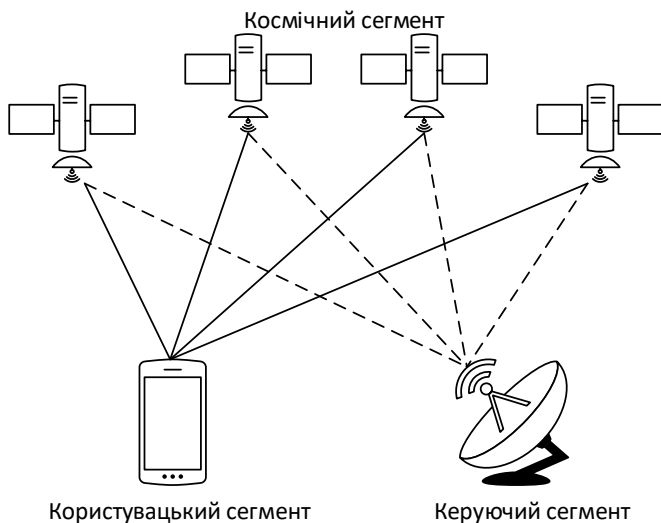


Рисунок 14.6 – Елементами супутникової системи навігації

Принцип дії супутникових систем навігації заснований на вимірюванні відстані від антени приймача на об'єкті до навігаційних супутників, місцезнаходження яких відоме з великою точністю. Таблиця положень супутників («альманах») є в кожному приймачі супутникового сигналу до початку вимірювань. Зазвичай приймач зберігає альманах у пам'яті з часу останнього ввімкнення. Кожний супутник передає в своєму сигналі весь альманах. Таким чином, знаючи відстані до декількох супутників системи, за допомогою звичайних геометричних побудов на основі альманаху вираховується положення об'єкта в просторі.

Метод вимірювання відстані від супутника до антени приймача заснований на визначенні швидкості поширення радіохвиль. Для реалізації можливості вимірювання часу поширюваного радіосигналу кожен супутник навігаційної системи випромінює сигнали точного часу, використовуючи синхронізований з системним часом атомний годинник. При роботі супутникового приймача його годинник синхронізується з системним часом, і при подальшому прийомі сигналів супутників обчислюється затримка між часом випромінювання, що міститься в самому сигналі, і часом прийому сигналу антеною приймача. Маючи дану інформацію, навігаційний приймач вираховує координати антени. Решта параметрів руху (швидкість, напрямок, пройдена відстань) обчислюється на основі вимірювання часу, який об'єкт витратив на переміщення між двома або більше точками з координатами, визначеними за попередніми обчисленнями.

Найвідоміші на сьогодні системи супутникової навігації:

- GPS;
- ГЛОНАСС;
- Galileo;
- Бейдоу.

Всі вони працюють за схожим принципом: для середнього за точністю позиціонування в просторі антена приймача має отримувати сигнал мінімум від 4 супутників системи (або від 3, якщо 1 з координат відома, наприклад, висота над рівнем моря судна в океані – 0 м), але є певні відмінності. Наприклад, кожна супутникова навігаційна система визначає місцезнаходження в «своїй» системі координат, кожна з систем супутникової навігації належить різним країнам чи угрупованням країн. Але ці чинники не є важливими для користувачів, набагато важливішими відмінностями є нахил та кількість орбіт, на яких знаходяться супутники, а також їх кількість, період обертання навколо Землі, оскільки саме ці параметри найбільше впливають на точність позиціонування.

ТЕМА 15 ПРОБЛЕМИ І ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ СИСТЕМ КОМУНІКАЦІЙ

Проблеми надійності в системах зв'язку. Способи збільшення пропускнуої спроможності мереж. Боротьба з перешкодами.

В процесі функціонування мереж зв'язку на них можуть виникати різні екстремальні ситуації, причинами яких є різнорідні зовнішні чинники, наприклад стихійні лиха (землетруси, повені, пожежі і тп). дія агресивного середовища (противника, зброї масового ураження) В результаті цього можуть вражатися як окремі елементи, так і цілі ділянки цих мереж Такі ситуації характеризуються різким зниженням пропускнуої здібності мереж зв'язку, а також їх структурно-топологічними змінами (аж до розриву зв'язності), тобто порушенням зв'язку між певними пунктами мережі. Дані про можливість мережі зв'язку по встановленню з'єднань і передачі (хоч би одиничних) повідомлень у вказаних ситуаціях дає така характеристика як **живучість мереж зв'язку**. Таким чином під живучістю мережі зв'язку розуміється її властивість забезпечувати встановлення з'єднань і передачу повідомлень між включеними в неї джерелами і споживачами інформації при виході з ладу (в умовах зовнішньої дії) її елементів або ділянок без нормування якості обслуговування.

Фактори, що визначають живучість мереж поділяються на 2 групи.

1. Процеси і явища, що викликають вихід з ладу елементів мережі зв'язку. Сюди входять:

- агресивні прояви довкілля;
- шкідливий вплив об'єктів і штучних споруд, розташованих поблизу елементів мережі зв'язку (дія високої напруги і радіоперешкод;
- дія зброї противника;
- недостатня живучість елементів мережі зв'язку.

2. Заходи, що приймаються в мережі і її властивості, що перешкоджають виникненню відмов або що підвищують зв'язність її структури. Сюди відноситься:

- раціональна побудова структури і топології мережі зв'язку;
- використання високонадійної і живучої апаратури зв'язку і засобів управління зв'язком;
- застосування спеціальних заходів захисту елементів мережі зв'язку.

Виділяють два види живучості мережі зв'язку: структурну і функціональну.

Перший вигляд визначає верхню (теоретично досягну) межу живучості. Вважають, що мережа володіє структурною живучістю, якщо можна вважати (з певною імовірністю), що граф мережі, описуючий її структуру залишиться зв'язним після дії на цю мережу певних агресивних зовнішніх чинників, тобто якщо у вказаних умовах в кожному напрямі

зв'язку зберігається (з певною вірогідністю) хоч би один шлях встановлення з'єднань, що забезпечує передачу повідомленні між кінцевими КЦ. Пошук шляху в даному випадку здійснюється по структурі мережі.

В реальній мережу зв'язку не кожен шлях, визначений по її графу може бути використаний для передачі повідомленні. Це обумовлюється обмеженнями на функціональні можливості використовуваних засобів зв'язку. Властивість мережі зв'язку забезпечувати встановлення з'єднань і передачу повідомлень в напрямках зв'язку при пошкодженнях в результаті зовнішніх дій її елементів і ділянок, з врахуванням функціональних можливостей використовуваних в цих напрямках засобів зв'язку, називається функціональною живучістю даної мережі. Саме параметри функціональної живучості враховуються в першу чергу при оцінці можливостей мереж зв'язку.

За показник кількісної оцінки живучості приймається імовірність виживання (збереження зв'язності) напрямків зв'язку. Для оцінки структурної живучості – це $W(G)$, для оцінки функціональної живучості – $W_{ij}(F)$ Живучість будь-якого шляху встановлення з'єднань, як сукупності послідовно включених його елементів (КЦ, віток), визначається добутком імовірності виживання кожного з цих елементів:

$$W_{ij}(F) = \prod_{k=1}^n W_k \prod_{l=1}^m W_l,$$

де n – число КЦ в шляху μ ; W_k – імовірність виживання k -го КЦ в заданих умовах; m – число віток в шляху μ ; W_i – імовірність виживання i -ої вітки в заданих умовах.

За наявності у напрямі зв'язку декількох незалежних шляхів встановлення з'єднань і передачі повідомлень його живучість зберігається, якщо при пошкодженні елементів (або ділянок) зберігається працездатним хоч би один з цих шляхів. Отже збільшення числа незалежних шляхів в напрямку зв'язку підвищує живучість цього напрямку. Проте приріст живучості $\Delta W(F)$ з додаванням нових шляхів передачі інформації непропорційний їх кількості. Значущість кожного шляху, що додається, виявляється нижчою від попереднього. Довжина шляху також визначає його значущість: чим довший шлях, тим менший приріст живучості він дає.

Надійність функціонування телекомунікаційних мереж.

Характеристика, що визначає можливість абонентів обмінюватися інформацією по мережах зв'язку в умовах виникнення технічних відмов і експлуатаційних помилок на її елементах без помітного погіршення імовірісно-часових показників обслуговування заявок, отримала назву надійності функціонування цих мереж.

У зв'язку з цим під надійністю функціонування мережі зв'язку розуміється її властивість забезпечувати встановлення з'єднань і передачу повідомлень в реальних умовах експлуатації при збереженні заданих значень показників якості обслуговування, встановлених для кожного напрямку зв'язку. Надійність мережі зв'язку має ряд особливостей в порівнянні з окремими радіотехнічними пристроями. Основними з них є:

- розгалуженість мереж зв'язку, розосереджене розміщення їх елементів на місцевості;
- багатозафазне обслуговування вимог, що поступають;
- визначення надійності мереж зв'язку за їх показниками для окремих напрямків зв'язку;
- наявність змінного статистичного резервування, властивого багатолінійним системам масового обслуговування;
- багатотипність використовуваних засобів зв'язку навіть на одному шляху встановлення з'єднання.

У загальному випадку надійність функціонування мережі зв'язку визначається надійністю її елементів, структурою і топологією мережі, а також станом оточуючого середовища У зв'язку з тим, що функціонально мережа зв'язку розбивається на напрями зв'язку, кожному з яких може бути задана своя якість обслуговування заявок, надійність функціонування оцінюється окремо для кожного з цих напрямів.

Як показник надійності функціонування мережі зв'язку і її основних елементів (направів зв'язку і віток, що входять в ці напрями) приймається імовірність $W(t)$ безвідмовного обслуговування заявок, що поступають в мережу. імовірність безвідмовного обслуговування може бути визначена як:

$$W_m(t) = Rm(1 - P_m),$$

де Rm – вірогідність безвідмовної роботи вітки; P_m – втрати заявок.

На відміну від надійності окремих радіотехнічних пристроїв, для яких встановлюються два технічні стани, "справно" (може виконувати свої функції по прямому призначенню), і "пошкоджене", - знаходиться в стані технічної відмови і не може виконувати вказані для цього пристрою функції, вітка мережі зв'язку може знаходитися в трьох станах "норма", "попередження" і "аварія". Імовірність безвідмовної роботи R визначає технічний стан засобів зв'язку, що входять в вітку, визначається:

$$R = k_e e^{-t/T},$$

де k_e – коефіцієнт готовності вітки виконувати завдання; t – час виконання цього завдання T – середній час роботи засобів вітки до технічної відмови (середній час напрацювання на відмову).

Ефективність використання устаткування на телекомунікаційних мережах.

Ефективність систем характеризує реальні або потенційні можливості систем розвивати певний позитивний ефект. Зустрічаються два визначення поняття ефективність. Перше – це міра близькості можливих або отриманих результатів цільового використання систем бажаним результатом. Друге – це показник співвідношення можливих результатів цільового використання систем і матеріально-технічних витрат, що забезпечують досягнення даних результатів.

В першому випадку за показник ефективності ε використання системи можна прийняти відношення можливого результату (ефекту) E_M використання системи до необхідного результату (ефекту) E_N :

$$\varepsilon = E_M / E_N.$$

У другому випадку таким показником є:

$$\varepsilon = E_M / Z,$$

де Z – величина матеріально-технічних витрат, що забезпечують отримання результату (ефекту) E_B .

При визначенні цільового призначення систем бажаний результат їх функціонування часто задається діапазоном ($E_{\max} - E_{\min}$) мінімального і максимального значень очікуваного ефекту. Реальна система в цьому випадку відповідає своєму призначенню, якщо ефект E , що розвивається нею, знаходиться в цьому діапазоні.

На величину ефекту, що отримується при використанні систем, істотний вплив роблять величина матеріально-технічних витрат на створення і експлуатацію цих систем; спосіб їх використання; алгоритми функціонування, що реалізуються на них; зовнішні чинники, що впливають на ці системи в період їх функціонування

Способи збільшення пропускнуої спроможності та ємності мереж.

Можна виділити деякі способи підвищення ємності в системах стільникового зв'язку:

1. Удосконалювання методів обробки сигналів (зокрема, перехід від аналогової обробки до цифрової), що супроводжується переходом до більш ефективних методів множинного доступу – від FDMA до TDMA і CDMA, а в межах TDMA – перехід від повношвидкісного кодування мови до напівшвидкісного.

2. Дроблення стільників, тобто перехід до менших комірок у районах з інтенсивним трафіком при тому ж коефіцієнті повторного використання частот. Число базових станцій (БС) при цьому відповідно збільшується, а

потужність випромінювання (як для БС, так і для МС) знижується. Практично стільники з радіусом менше 300...500 м незручні, тому що надмірно зростає потік передач обслуговування. Вихід може бути знайдений у використанні багаторівневих (ієрархічних) схем побудови стільникової мережі з обслуговуванням у великих осередках (макростільниках) абонентів, які швидко переміщуються (автомобілістів), а в більш дрібних (мікростільники, пікостільники) – малорухомих абонентів, наприклад, покупців у межах торгового центру.

3. Використанні на БС секторних антен. При цьому на БС замість антени з круговою діаграмою направленості застосовують декілька секторних антен, які дозволяють концентрувати випромінювання в межах сектора і зменшувати до мінімуму випромінювання в інших напрямках та використовувати у кожному з секторів своїх частотних каналів. Наприклад, поділ стільника на три сектори (при 120-градусних антенах) дозволяє використовувати в стільнику 3 групи різних частотних каналів.

4. Використання адаптивного призначення (розподілу) каналів у методах доступу з частотним і часовим поділом каналів (FDMA і TDMA). При даному підході частотні канали (усі чи частково) знаходяться в оперативному розпорядженні центру комутації (ЦК), що виділяє їх для користування окремим стільникам (БС) по мірі надходження заявок (викликів), тобто відповідно до реальної інтенсивності трафіку, але при дотриманні необхідного територіально-частотного розносу. Такий адаптивний алгоритм складніший, але він може забезпечити підвищення ємності системи за рахунок гнучкого відстеження флуктуацій трафіку.

5. Розширення виділеної смуги частот. Але в умовах твердих обмежень на доступні смуги частот даний підхід не є перспективним.

Підвищення пропускної здатності проводової мережі можна здійснити за допомогою наступних способів:

- сегментація мережі за допомогою мостів і маршрутизаторів;
- сегментація мережі за допомогою комутаторів;
- підвищення пропускної спроможності самого протоколу за допомогою використання методів QoS – керування заторами, управління чергами, динамічна маршрутизація, тощо.

Сегментація мережі за допомогою мостів або маршрутизаторів може підвищити пропускну здатність сегментів мережі за рахунок їх розвантаження від трафіку інших сегментів тільки в тому випадку, коли межсегментний трафік складає незначну частку від внутрішньосегментного, оскільки і мости, і маршрутизатори не володіють високою внутрішньою пропускнуною спроможністю.

Боротьба з перешкодами.

Для зв'язку з рухомими об'єктами використовуються діапазони метрових (дуже високі частоти – VHF) ($F=30...300$ МГц, $\lambda=1..10$ м) і

дециметрових хвиль (ультрависокі частоти – UHF) ($F=300..3000$ МГц, $\lambda=0,1..1$ м). Це обумовлено:

- можливістю повторного використання частот (радіохвилі цих діапазонів розповсюджуються тільки землею хвилею на відстань практично прямої видимості);

- застосуванням мобільних антен малих розмірів (геометричні розміри антени залежать від довжини хвилі випромінювання);

- достатньо великою частотною ємністю цих діапазонів.

Поширення радіохвиль в цих діапазонах характеризуються наступним:

- зоною поширення є шар тропосфери, що знаходиться безпосередньо над поверхнею Землі, а не траєкторія за рахунок відбиття від шарів іоносфери (крім сигналів з частотою до 70 МГц у певні пори року та час доби);

- мала дифракційна здатність;

- залежність дальності від рельєфу місцевості і незалежність від пори року та часу доби;

- залежність згасання від частоти – зі збільшенням частоти згасання зростає;

- поглинання радіохвиль поверхнею ґрунту та місцевими предметами;

- відбиття від будівель і металевих конструкцій, що приводить до багатопроменевого розповсюдження; це приводить до поширення радіохвиль від точки передавання до точки приймання одночасно декількома окремими шляхам. Наслідком такого багатопроменевого розповсюдження є більш швидке, ніж у вільному просторі, загасання інтенсивності прийнятого сигналу з відстанню; завмирання і спотворення результуючого сигналу.

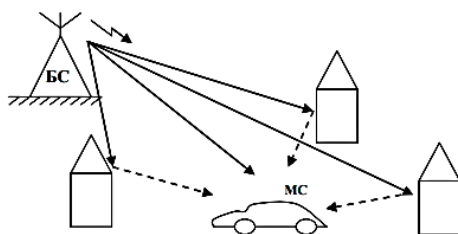


Рисунок 15.1 – Багатопроменеве розповсюдження в умовах міської забудови

Картина багатопроменевого поширення схематично зображена на рисунку 15.1, (пунктиром показані відбиті від об'єктів хвилі).

- значне поглинання сигналів з вертикальною поляризацією лісовою рослинністю;

- збільшення дальності над поверхнями з високою електропровідністю та діелектричною проникністю (наприклад, над водною поверхнею);

Доплерівський ефект в радіозв'язку приводить до появи зсуву частоти сигналу в точці прийому, який виникає при відносному русі передавача та/або приймача. Коли мобільний приймач рухається до передавача, кожний наступний цикл коливань хвилі радіосигналу повинний пройти меншу відстань до приймальної антени в порівнянні з попереднім і прийнята частота зростає. Коли ж мобільний приймач віддаляється від передавача, то доплерівський зсув має від'ємний знак і прийнята частота зменшується.

Негативні наслідки доплерівського ефекту компенсуються роботою системи АПЧ приймача. Як правило, в технічній документації системи радіодоступу визначається максимально можлива швидкість пересування абонентського обладнання.

По мірі віддалення МС і БС напруженість поля убуває. Крім того, якщо змінити частоту сигналу чи швидкість руху МС, залежність значно зміниться. Зміна середнього значення напруженості поля в залежності від відстані МС і БС прийнято називати **загасанням**, а сплески – **завмиранням** сигналу. Величина загасання пропорційна квадрату частоти сигналу і квадрату відстані МС від БС.

При додаванні декількох сигналів, що пройшли по різних шляхах та мають у місці прийому в загальному випадку різні фрази, результуючий сигнал може бути як вище за середній рівень, так і помітно нижче. Причому завмирання сигналу, які утворюються при взаємній компенсації сигналів унаслідок несприятливого сполучення їхніх фаз і амплітуд, можуть бути досить глибокими.

Спотворення результуючого сигналу (або міжсимвольна інтерференція) має місце в тому випадку, коли порівнянні по амплітуді і протилежні по фазі промені відрізняються по різниці ходу на час, порівнянний із тривалістю символу. Це приводить до накладення символів одного сигналу на символи сусіднього.

Колівання рівня (завмирання) прийнятого сигналу мають дві складові – швидко і повільну. **Швидкі завмирання**, що є прямим наслідком багатопроменевого розповсюдження, описуються релеєвським законом розподілу, і тому іноді називаються релеєвськими завмираннями. Ці завмирання обумовлені сигналами, відбитими від зовнішніх об'єктів. Діапазон змін рівня сигналу при швидких завмираннях може досягати 40 дБ, з яких приблизно: – 10 дБ – перевищення над середнім рівнем; – 30 дБ – провали нижче середнього рівня (причому більш глибокі). Період флуктуацій у часі залежить від швидкості переміщення МС. Наприклад, при швидкості 50 км/год період флуктуацій складає близько 10 мс, а при 100 км/год – близько 5 мс. Частота завмирань глибиною 30...10 дБ при швидкості 50 км/год складає 5..50 провалів у секунду відповідно, а середня тривалість завмирань нижче рівня 30...10 дБ при тій же швидкості – порядку 0,22 мс.

Повільні завмирання виникають через зміну рельєфу, умов затінення при переміщенні МС і рефракції радіохвиль, і описуються логарифмічно нормальним законом розподілу. Інтенсивність повільних флуктуацій не перевищує 5...10дБ, а їхня періодичність відповідає переміщенню МС на десять метрів. Фактично повільні завмирання являють собою зміну середнього рівня сигналу при переміщенні МС і рефракції радіохвиль, на які накладаються швидкі завмирання внаслідок багатопроменевого розповсюдження.

У стільниковому зв'язку найбільш небезпечні швидкі завмирання. Тому що вони бувають досить глибокими, то відношення сигнал/шум може падати настільки сильно, що корисна інформація буде істотно спотворюватися шумами, аж до повної її втрати.

Зменшення рівня сигналу, пов'язане з загасанням електромагнітних хвиль при поширенні в умовах прямої видимості, може бути компенсовано прямим збільшенням потужності випромінюваного сигналу. У той же час компенсація енергетичних втрат внаслідок завмирань і спотворень, викликаних ефектами багатопроменевого поширення, вимагає інших технічних рішень. Для боротьби зі спотворенням сигналу та завмираннями використовують наступні методи:

- рознесений прийом. Зокрема:
 - рознесення у часі (time diversity);
 - рознесення по частоті (frequency diversity);
 - рознесення по куту чи напрямку (angle або direction diversity);
 - рознесення по поляризації (polarization diversity);
 - рознесення в просторі (space diversity).
- сигнали з розширенням спектру.
- у системах CDMA використовують ширококутові сигнали і рейк-приймачі (найбільш сильні сигнали вирівнюються по затримці, а потім складаються);
 - у системах TDMA (тобто у вузькосмугових системах) застосовують еквалайзери (вирівнюючі фільтри).
 - завадостійке кодування.
 - стрибки по частоті. Використання стрибків сигналів по частоті (frequency hopping) є одним із методів розширення спектру – FHSS. Ідея методу стрибків по частоті полягає в тому, що несуча частота кожного фізичного каналу періодично змінюється, тобто кожен фізичний канал періодично переводиться на новий частотний канал. Оскільки релеєвські завмирання є частотно – селективними, то, якщо при роботі на деякій частоті мало місце завмирання, при зміні робочої частоти на 100...300 кГц завмирання з великою імовірністю не буде.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Вакуленко О. В., Голь В. Д., Ірха М. С., Хахлюк О. А. Лінії передачі: підручник. Київ : ІСЗЗІ КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 218 с.
2. Голь В. Д., Ірха М. С. Телекомунікаційні та інформаційні мережі: навч. Пос. Київ : ІСЗЗІ КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 250 с.
3. Головін Ю. О. Основи радіозв'язку: підручник. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, Політехніка, 2021. 234 с
4. Головін Ю. О., Могилевич Д. І. Основи теорії радіозв'язку. Теоретичні основи та практичні аспекти. К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. 248 с.
5. Кучернюк П. В. Основи теорії телекомунікацій і радіотехніки: навчальний посібник для студентів спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка». КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. 290 с.
6. Лошаков В. А., Наритник Т. М., Сабурова С. О. Системи і технології цифрового телебачення: навчальний посібник. К.: Талком, 2022. 285 с.
7. Blokdyk G. Telecommunications Network. A Complete Guide. 5STARCOOKS, 2021. 306 p.
8. Raghunandan K. Introduction to Wireless Communications and Networks: A Practical Perspective (Textbooks in Telecommunication Engineering). Springer. 2022. 458 p.
9. Основи радіозв'язку з рухомими об'єктами. URL: https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/53493/3/ORRO_navch_posib.pdf (дата звернення 28.12.2023р)
10. Сучасні супутникові системи зв'язку. URL: https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/50386/1/Suchasni_suputnykovi_systemy_zv'iazku.pdf (дата звернення 28.012.2023р).
11. Супутникові системи навігації на транспорті URL: https://www.shevchenkove.org.ua/person_syte/Golub/%D1%81%D1%83%D0%BF%D1%83%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B82016/teoria8.html (дата звернення 28.12.2023р).
12. Телекомунікаційні та інформаційні мережі URL: <https://ktpu.kpi.ua/wp-content/uploads/2014/02/Vorobiyenko-P.P.-Telekomunikatsijni-ta-informatsijni-merezhi.pdf> (дата звернення 28.12.2023р).
13. Системи мобільного зв'язку URL: https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/53772/1/SMZ_ker_z_KR.pdf (дата звернення 28.05.2023р).
14. Загальна характеристика стандарту GSM URL: <https://inmad.vntu.edu.ua/portal/static/F6D57B04-F5DE-4F0D-8B6A-D10B6BC6CE76.pdf> (дата звернення 28.12.2023р).
15. Сучасні телекомунікації URL: https://learn.ztu.edu.ua/pluginfile.php/259551/mod_resource/content/2/%D0%9B%D0%95%D0%9A1%20%D0%A6%D0%A2%D0%9C%D0%A2.pdf (дата звернення 28.012.2023р).

I - 74

Інформаційно-телекомунікаційні технології в суспільстві. Конспект лекцій. Для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти освітньої програми «Комп'ютеризовані телекомунікаційні мережі» галузі знань 17 Електроніка та телекомунікації спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка всіх форм навчання / уклад. Н.М. Якимчук, М.М. Євсюк. Луцьк: ЛНТУ, 2024. 132 с.

Комп'ютерний набір
Редактор

Наталія ЯКИМЧУК
Микола ЄВСЮК

Підп. до друку «__» _____ 2024 р.
Формат 60x84/16. Папір офс.
Гарн. Таймс. Ум. друк. арк. 6.
Тираж 50 прим.

Відділ іміджу та промоції
Луцького національного технічного університету
43018 м. Луцьк, вул. Львівська, 75
Друк – ВІП Луцького НТУ

