

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ АЕРОНАВІГАЦІЇ,
ЕЛЕКТРОНІКИ ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ
КАФЕДРА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ ТА РАДІОЕЛЕКТРОННИХ
СИСТЕМ**

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри

Роман ОДАРЧЕНКО
“ _____ ” _____ 2023 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА
РОБОТА
(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)**

ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВР

Тема: «Мережа радіодоступу системи стільникового зв'язку»

Виконавець: _____ Олександр ЯТЧЕНКО
(підпис)

Керівник: _____ Анатолій ТАРАНЕНКО
(підпис)

Нормоконтролер: _____ Денис БАХТІЯРОВ
(підпис)

Київ 2023

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет аеронавігації, електроніки та телекомунікацій

Кафедра телекомунікаційних та радіоелектронних систем

Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Освітньо-професійна програма «Телекомунікаційні системи та мережі»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Роман ОДАРЧЕНКО

“ ” _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання кваліфікаційної роботи

Ятченка Олександра Максимовича

(прізвище, ім'я, по батькові випускника в родовому відмінку)

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Мережа радіодоступу системи стільникового зв'язку»

затверджена наказом ректора від «29» березня 2023 р. № 421/ст

2. Термін виконання роботи: з 22.05.2023 р. по 25.06.2023 р.

3. Вихідні дані до роботи: розробити мережу стільникового зв'язку з підвищенням абонентської ємності шляхом часового ущільнення каналів

4. Зміст пояснювальної записки: принципи побудови стільникових систем, підсистема передачі пакетних даних, ущільнення прямих радіоканалів

5. Перелік обов'язкового графічного (ілюстративного) матеріалу: слайди презентації в програмному пакеті Microsoft PowerPoint

6. Календарний план-графік

№ пор.	Завдання	Термін виконання	Відмітка про виконання
1	Розробити деталізований зміст розділів кваліфікаційної роботи	22.05.2023-24.05.2023	Виконано
2	Вступ	25.05.2023	Виконано
3	Принцип побудови стільникових систем	26.05.2023-31.05.2023	Виконано
4	Підсистема передачі пакетних даних	01.06.2023-05.06.2023	Виконано
5	Ущільнення прямих радіоканалів	06.06.2023-11.06.2023	Виконано
6	Усунення недоліків та захист кваліфікаційної роботи	15.06.2023-25.06.2023	Виконано

7. Дата видачі завдання: “19” травня 2023 р.

Керівник кваліфікаційної роботи _____ Анатолій ТАРАНЕНКО
(підпис керівника) (П.І.Б.)

Завдання прийняв до виконання _____ Олександр ЯТЧЕНКО
(підпис випускника) (П.І.Б.)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота «Мережа радіодоступу системи стільникового зв'язку» містить 48 сторінок, 19 рисунків, 4 таблиці, 10 використаних джерел.

СИСТЕМА GSM, ПІДСИСТЕМА GSM, ПАКЕТНІ ДАНІ, АБОНЕНТСЬКА ЄМНІСТЬ СИСТЕМИ, ОРТОГОНАЛЬНІ СУБКНАЛИ, ЧАСОВЕ УЩІЛЬНЕННЯ, ФІКСОВАНА ПОСЛІДОВНІСТЬ.

Об'єкт дослідження – стільникова система передачі абонентської інформації.

Предмет дослідження – процес передачі пакетних даних в радіоінтерфейсі між мобільною та базовою станціями.

Мета кваліфікаційної роботи – вдосконалення часового ущільнення сигналів в радіоінтерфейсі.

Методи дослідження – аналіз наукової літератури, порівняльний метод, структурний аналіз, аналіз та синтез сигналів.

Матеріали кваліфікаційної роботи рекомендується використовувати при розробці нових протоколів передачі пакетної інформації в стільникових системах.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	7
ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1. Принцип побудови стільникових систем.....	11
1.1. Структура системи.....	11
1.1.1. Структура системи GSM.....	11
1.1.2. Структура системи UMTS.....	15
1.1.3. Структура системи LTE.....	18
1.2. Методи доступу в радімережі.....	20
1.2.1. Метод FDMA.....	21
1.2.2. Метод TDMA.....	22
1.2.3. Метод CDMA.....	24
РОЗДІЛ 2. Підсистема передачі пакетних даних.....	26
2.1. Структура підсистеми.....	26
2.2. Пакетний радіоінтерфейс.....	28
2.2.1. Логічні канали.....	31
2.2.2. Сервіс EDGE.....	32
РОЗДІЛ 3. Ущільнення прямих радіоканалів.....	35
3.1. Квадратурна фазова маніпуляція (QPSK).....	35
3.2. Адресація каналів.....	40

ВИСНОВКИ.....	46
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	48

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

BSC	– (Base Transceiver Station) контролер базових станцій.
CS Domain	– (Circuit-Switched Domain) домен з комутацією каналів.
CDMA	– (Code Division Multiple Access) множинний доступ з кодовим розділенням каналів зв'язку.
DSSS	– (Direct Sequence Spread Spectrum) розширення спектру методом прямої послідовності.
EIR	– (Equipment Identity Register) реєстр ідентифікації обладнання.
EDGE	– (Enhanced Data Rate for GSM Evolution) технологія передачі даних.
FDMA	– (Frequency Division Multiple Access) багатостанційний доступ з частотним поділом.
GSM	– (Global System for Mobile communication) глобальна система мобільного зв'язку.
GMSC	– (Gateway MSC) шлюз центру комутації.
GERAN	– (GSM/EDGE Radio Access Network) мережа радіодоступу GSM/EDGE.
GGSN	– (Gateway GPRS Support Node) вузол підтримки GPRS з функцією шлюзу;
GPRS	– (General Packet Radio Service) «загальна пакетна радіослужба».
HLR	– (Home Location Register) домашній реєстр місцезнаходження.
VLR	– (Visitor Location Register) візитний реєстр місцезнаходження.
IP	– (Internet Protocol) інтернет протокол.
ISDN	– (Integrated Services Digital Network) цифрова мережа з інтеграцією послуг.
LTE	(Long Term Evolution) довготривалий розвиток.

MS	– (Mobile Station) мобільна (рухова) станція.
MSC	– (Mobile services Switching Center) центр комутації мобільних послуг.
OFDM	– (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing) ортогональне мультиплексування з частотним розділенням каналів.
PSTN	– (Public Switched Telephone Network) телефонна мережа загального користування.
PS Domain	– (Packet-Switched Domain) домен з комутацією пакетів.
PLMN	– (Public Land Mobile Network) мережа рухомого (мобільного) зв'язку.
PSK	– (Phase-shift Keying) фазова маніпуляція.
PCRF	– (Policy and Charging Rules Function) функція првил підписки та сплати.
QPSK	– (quadrature phase shift keying) квадратурна фазова маніпуляція.
SGSN	– (Serving GPRS Support Node) вузол підтримки GPRS з функцією сервера.
TDMA	– (Time Devision Multiple Access) багатостанційний доступ з тимчасовим поділом.
TCH	– (Traffic Chanel) канал навантаження.
UMTS	– (Universal Mobile Telecommunications System) універсальна мобільна телекомунікаційна система.
UTRAN	– (Universal Terrestrial Radio Access Network) універсальна наземна мережа радіодоступу.

ВСТУП

Актуальність теми. Широке впровадження комп'ютерних технологій призвело до суттєвого зростання обсягу цифрових даних, що передаються в режимі реального часу. Потреба передачі зростаючого обсягу інформації неминуче призводить до необхідності підвищення швидкості передачі даних, тому проблема збільшення швидкодії каналів радіозв'язку не втрачає своєї актуальності і по сьогоднішній день.

Щоб впоратися зі зростаючим об'ємом трафіку операторам необхідно впроваджувати більш швидкісні й економічні радіотехнології, підвищувати ефективність і забезпечувати збалансований розвиток мереж.

Водночас в оператора повинні бути засоби управління потоками, що дозволяють б гарантувати певний рівень якості послуг для кожного окремого абонента. Розподілення навантаження підвищує інтенсивність використання мережевих сегментів, а значить і ефективну пропускну здатність мережі.

Для перенесення інформації у безпроводних системах зв'язку необхідним етапом обробки сигналів виступає модуляція. Як відомо, модуляція призначена для перенесення смуги частот, яка властива низькочастотному відеосигналу, у виділений для конкретної системи зв'язку частотний діапазон, або, іншими словами, відбувається накладання низькочастотного інформаційного сигналу на високочастотне несуче гармонічне коливання.

Цифрова модуляція – це процес перетворення цифрових символів на сигнали, які сумісні з характеристиками каналу. Відповідно, при смуговій модуляції імпульси заданої форми модулюють несуче коливання.

Під час вибору виду цифрової модуляції необхідно досягати певного компромісу між вимогами до якісних характеристик системи зв'язку і виділеними на систему частотно-енергетичними ресурсами.

Тому задача вибору методу модуляції важлива з точки зору покращення абонентської ємності, електромагнітної сумісності і нормованої швидкості передачі даних для більш економного використання виділеного частотного ресурсу.

Мета і завдання дослідження. Дослідити процес передачі пакетних даних в радіоінтерфейсі між мобільною та базовою станціями з метою вдосконалення часового ущільнення сигналів в радіоінтерфейсі

Для досягнення поставленої мети вирішуються такі наукові завдання.

1. Проаналізовані вимоги до сучасних безпроводних телекомунікаційних систем;
2. Визначені показники ефективності системи зв'язку;
3. Проаналізовано вплив вибору виду модуляції на показники системи у цілому;
4. Проаналізовані якісні характеристики методів QPSK.

Об'єкт дослідження – стільникова система передачі абонентської інформації.

Предметом дослідження є процес передачі пакетних даних в радіоінтерфейсі між мобільною та базовою станціями.

Методи досліджень. Аналіз наукової літератури, порівняльний метод, структурний аналіз, аналіз та синтез сигналів.

Практичне значення отриманих результатів.

Матеріали дипломної роботи рекомендується використовувати при розробці нових протоколів передачі пакетної інформації в стільникових системах.

Апробація отриманих результатів. Основні положення роботи доповідалися та обговорювалися на таких конференціях:

- Науково-практична конференція «Проблеми експлуатації та захисту інформаційно-комунікаційних систем», м. Київ, 2023 р.

РОЗДІЛ 1

ПРИНЦИП ПОБУДОВИ СТІЛЬНИКОВИХ СИСТЕМ

1.1 Структура системи

Міжнародний союз електрозв'язку (ITU) використовує загальну назву International Mobile Telecommunications (ІМТ) для систем мобільного зв'язку. Основні принципи розробки систем ІМТ:

- Стандартна форма та сумісність протоколу взаємодії відкритих систем (OSI);
- Гармонізований радіочастотний ресурс — це послідовний розподіл радіочастот між різними стандартними системами;
- глобальний міжнародний роумінг;
- зворотна сумісність радіоінтерфейсу, що означає, що фіксована мережа нового покоління повинна підтримувати роботу мобільних станцій попереднього покоління.

1.1.1 Структура системи GSM

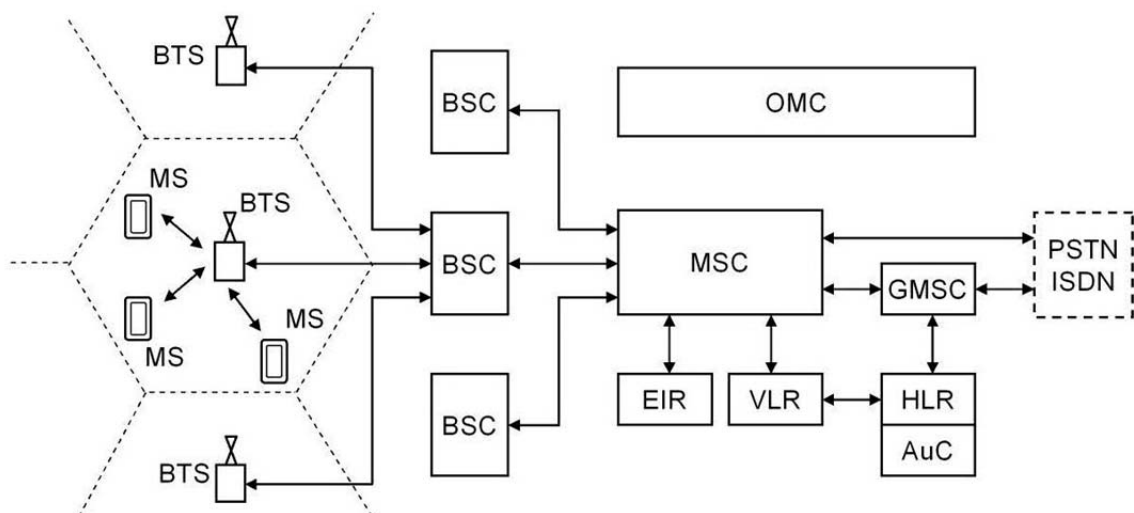


Рис. 1.1. а) Структура системи GSM

MSC	Mobile services Switching Center	Центр комутації мобільних послуг
VLR	Visitor Location Register	Візитний реєстр місцезнаходження
GMSC	Gateway MSC	Шлюз центру комутації
BSC	Base Station Controller	Контролер базових станцій
BTS	Base Transceiver Station	Базова приймально-передавальна станція
MS	Mobile Station	Мобільна (рухома) станція
EIR	Equipment Identity Register	Реєстр ідентифікації обладнання
HLR	Home Location Register	Домашній реєстр місцезнаходження
AuC	Authentication Center	Центр аутентифікації
OMC	Operation and Maintenance Center	Центр експлуатації і обслуговування
PSTN	Public Switched Telephone Network	Телефонна мережа загального користування
ISDN	Integrated Services Digital Network	Цифрова мережа з інтеграцією послуг

Рис. 1.1. б) Компоненти структури системи GSM

Система комутації SS (Switching System) відповідає за потік викликів і встановлення з'єднання, а також надає послуги, на які підписався абонент. Ця система складається з наступних функціональних вузлів:

- центр комутації MSC;
- шлюз GMSC;
- реєстр HLR;
- реєстр VLR;
- реєстр EIR;
- центр аутентифікації AUC.

Система базових станцій BSS (Base Station System) виконує обмін сигналами між центром комутації і мобільними станціями та складається з наступних вузлів:

- базові приймально-передавальні станції BTS;
- контролери базових станцій BSC.

Системи зв'язку та управління знаходяться в технічному центрі оператора. Базові станції знаходяться в певній зоні і підключені до контрольного обладнання через так звану транспортну мережу. Це включає оптичні канали, кабелі та радіорелейні канали зв'язку.

OMC — це обчислювальна точка керування, яка підключена до центру комутації і контролера через мережевий шлях зв'язку. Співробітники центру

інформуються про поточний стан мережі та контролюють системні параметри. Залежно від розміру мережі таких станцій може бути одна або декілька.

Мобільна станція стандарту GSM складається з двох частин:

- мобільного обладнання (терміналу);
- модуля ідентифікації абонента (SIM, Subscriber Identity Module), який також називають SIM-картою.

На відміну від систем інших стандартів, в системі GSM мережева інформація про абонента зберігається не в терміналі, а в SIM-модулі. Це дозволяє абоненту розмістити свою SIM-карту на інших терміналах і використовувати мережеві послуги в повному обсязі своєї підписки.

Зона обслуговування системи GSM розділена на секції, кожна з яких обслуговує центр комутації мобільного зв'язку (MSC). MSC – це спеціальний електронний комунікаційний центр, де розміщені функціональні блоки для вирішення конкретних завдань у системі мобільного зв'язку. MSC відповідає за планування, маршрутизацію та управління вхідними та вихідними дзвінками для абонентів.

MSC працює як телефонний комутатор. Він може контролювати вхідні та вихідні виклики, включаючи телефони та інші інформаційні системи, такі як комутована телефонна мережа загального користування PSTN, високошвидкісні цифрові мережі, такі як служби ISDN та інші мережі операторів мобільного зв'язку.

Шлюз GMSC потрібен для зв'язку з MSC і HLR з мережею за межами мобільної станції. Наприклад, якщо ви телефонуєте з мобільного телефону в місцеву телефонну мережу, місцева мережева станція підключається до мережі GSM лише після підключення до GMSC.

Реєстр HLR є центральним сховищем інформації про незмінні налаштування користувача та поточне місцезнаходження. Велика система може мати кілька HLR, але інформація кожного користувача зберігається лише в одному з них.

Оскільки HLR зберігає всю інформацію про користувачів, які постійно зареєстровані в мережі GSM, навіть якщо користувач тимчасово зареєстрований в іншій мережі GSM (наприклад, в іншій країні), вона зберігається для встановлення з'єднання з цим користувачем. Потім статус користувача, в записі користувача HLR містить номер TMSI (тимчасова мобільна ідентифікація) та адресу VLR, що відповідає поточному місцезнаходження користувача. Реєстрація кожного користувача включає перелік додаткових послуг, які використовує користувач, і ключ шифрування для передачі цифрових даних та ідентифікації користувача.

HLR може бути інтегрований з MSC або може бути як окрема база даних. Якщо реєстраційних можливостей недостатньо для реєстрації інформації про нового абонента, до системи додається додаткова HLR.

VLR — це база даних мобільних операторів, які обслуговують активну зону обслуговування MSC. VLR тимчасово зберігає інформацію про абонента, щоб MSC міг якнайшвидше обслуговувати поточних клієнтів послуги. Цю реєстрацію можна розглядати як тимчасову HLR, оскільки VLR тимчасово зберігає деякі дані про абонента HLR.

Реєстр EIR – це база даних ідентифікаційних номерів терміналів. Мобільна станція передає цей номер у відповідь на запит центру передачі. Реєстр включає в себе «чорний» список терміналів:

- неприпустимі характеристики електромагнітної сумісності;
- нелегальне ввезення;
- крадіжка і т.п.

Незалежно від SIM-модуля, мережа не обслуговує ці термінали.

Функція AuC полягає в ідентифікації зареєстрованих абонентів серед користувачів, які намагаються вийти в Інтернет. Фактично, користувач використовує цей сайт для захисту від шахрайства. AuC підключений до HLR і надає цьому реєстру параметри аутентифікації та ключі шифрування для безпеки мережі.

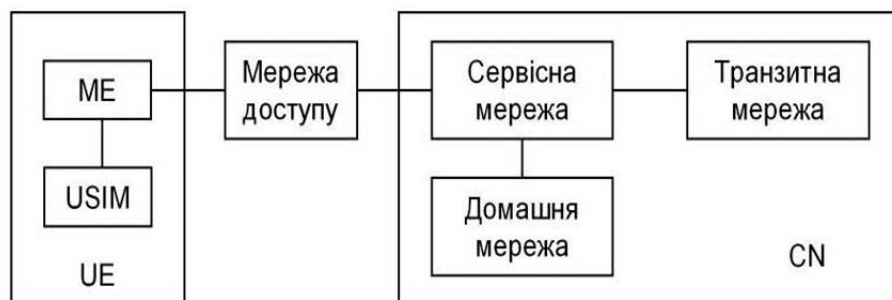
BSC керує радіосистемою, яка включає базові та мобільні станції. Контролер виконує наступні функції: розподіл радіоканалів, збір даних про місцезнаходження базової станції та мобільної станції, передача при переміщенні мобільної станції з одного стільника в інший. Кілька елементів управління можуть розташовуватися під ядром комутатора.

Базова станція BTS забезпечує радіозв'язок з мобільними станціями в її зоні обслуговування (стільнику) і складається з приймача, передавача та антени. Групою базових станцій керує один контролер.

1.1.2 Структура системи UMTS

USIM-модуль містить номер мережі абонента та параметри алгоритму і безпеки мережі. Мережа доступу підтримує зв'язок між базовою мережею та мобільними станціями. Відстежує правила підписки на послуги локальної мережі та забезпечує безпеку мережі. Мережевий транспорт підтримує спілкування користувача із зовнішніми мережами.

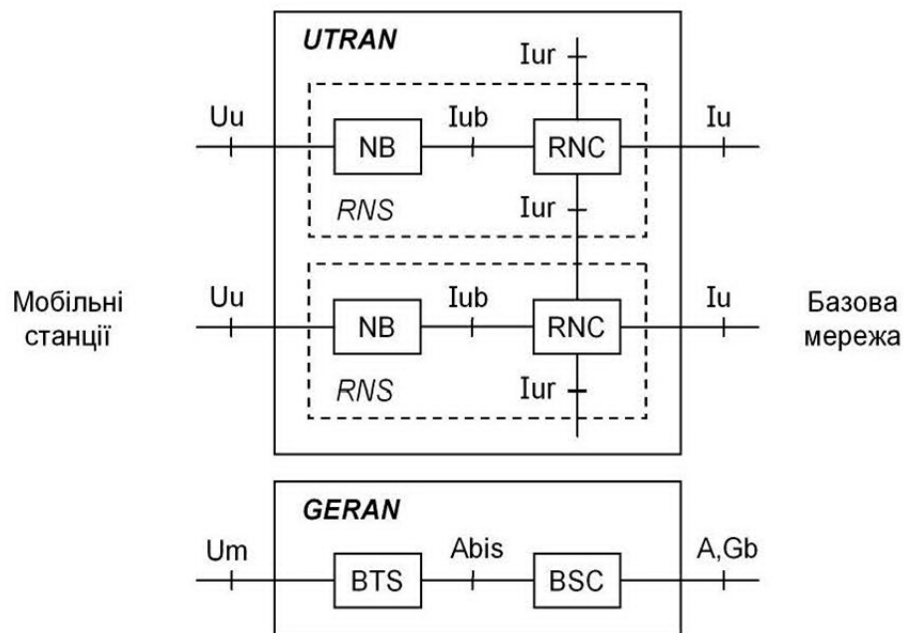
На рисунку 1.2 наведена загальна структура системи.



UE	User Equipment	Обладнання користувача (в GSM "Mobile Station")
USIM	UMTS Subscriber Identity Module	Модуль ідентифікації абонента UMTS
ME	Mobile Equipment	Мобільне обладнання (в GSM "Mobile Terminal")
CN	Core Network	Базова мережа (мережеве "ядро")

Рис. 1.2. Структура системи UMTS

На рисунку 1.3 наведена структура мережі доступу.



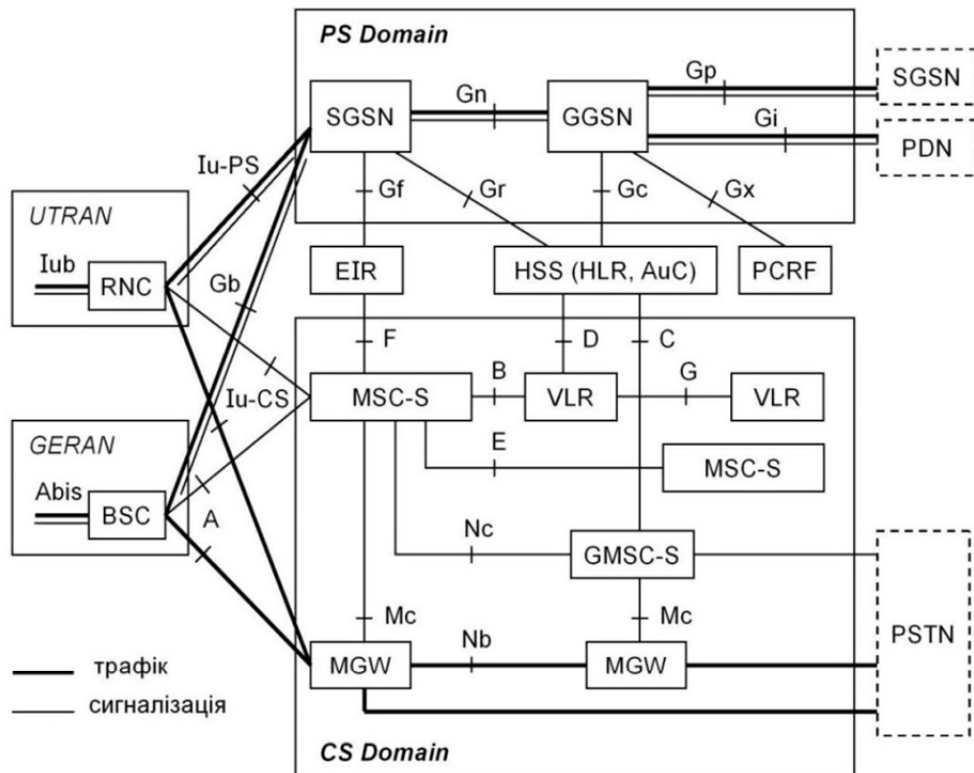
UTRAN	Universal Terrestrial Radio Access Network	Універсальна наземна мережа радіодоступу
RNS	Radio Network Subsystem	Підсистема радіомережі
NB	Node B	Вузол В (базова станція)
RNC	Radio Network Controller	Контролер радіомережі
GERAN	GSM/EDGE Radio Access Network	Мережа радіодоступу GSM/EDGE
BTS	Base Transceiver Station	Базова приймально-передавальна станція
BSC	Base Stations Controller	Контролер базових станцій

Рис. 1.3. Мережа доступу

Особливістю UTRAN є взаємодія між контролерами RNC, які виконують деякі функції керування базовою мережею. Це скорочує час встановлення з'єднання та забезпечує швидшу передачу.

Домен PS забезпечує передачу пакетного трафіку. Ресурси каналу для радіовзаємодії не резервуються та розподіляються динамічно. Цей датчик необхідний мобільним станціям для зв'язку з пакетними мережами, включаючи мережу Інтернет.

Домен CS із комутацією каналів дозволяє передавати аудіо в певному напрямку, який надсилатиметься одержувачу під час з'єднання. Це потрібно для підключення мобільного телефону до телефонної мережі.



PS Domain	Packet-Switched Domain	Домен з комутацією пакетів
SGSN	Serving GPRS Support Node	Вузол підтримки GPRS з функцією сервера
GGSN	Gateway GPRS Support Node	Вузол підтримки GPRS з функцією шлюзу
CS Domain	Circuit-Switched Domain	Домен з комутацією каналів
MSC-S	Mobile Switching Center Server	Сервер центру комутації мобільних послуг
VLR	Visitor Location Register	Візитний реєстр місцезнаходження
GMSC-S	Gateway MSC Server	Сервер шлюзу центру комутації
MGW	Media GateWay	Медіашлюз
EIR	Equipment Identity Register	Реєстр ідентифікації обладнання
HSS	Home Subscriber Server	Домашній абонентський сервер
HLR	Home Location Register	Домашній реєстр місцезнаходження
AuC	Authentication Center	Центр аутентифікації
PCRF	Policy and Charging Rules Function	Функція правил підписки та сплати
PDN	Packet Data Network	Мережа передачі пакетних даних (інтернет)
PSTN	Public Switched Telephone Network	Телефонна мережа загального користування

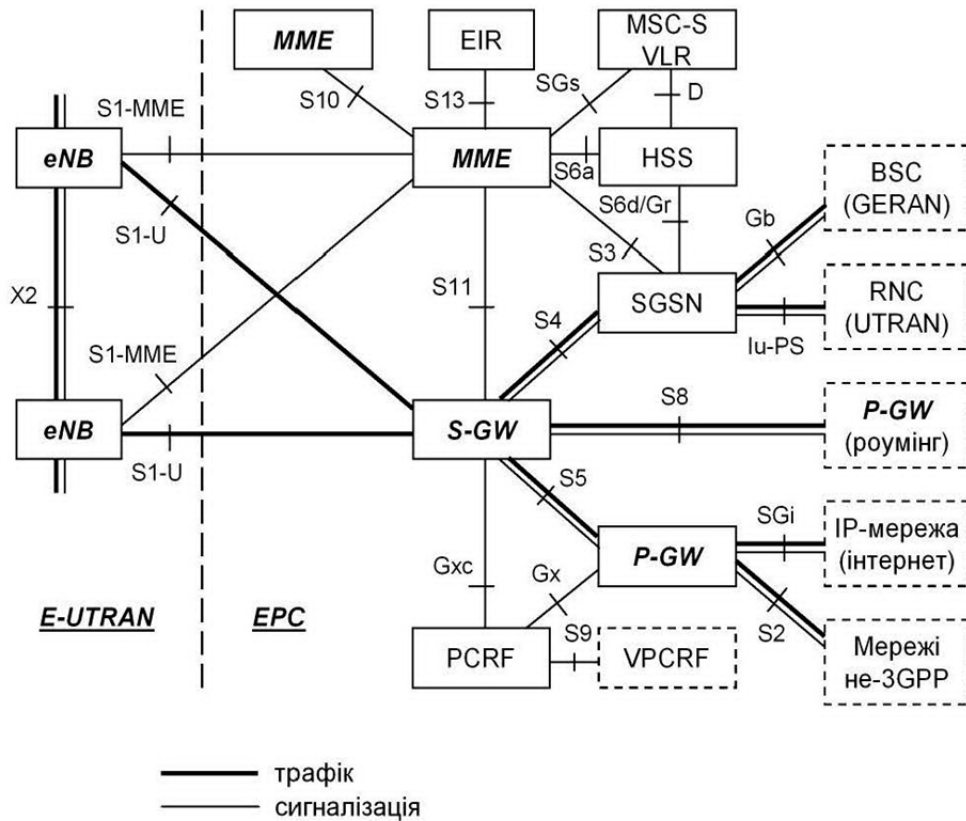
Рис. 1.4. Базова мережа

Сервер MSC-S відповідає за керування підключенням. Він підтримує обробку білінгових сигналів і підтримку зв'язку з іншими мережами. Функцію каналів трафіку виконує шлюзовий комутатор MGW.

В інших архітектурах достатньо додати більше портів і оновити програмне забезпечення сервера, щоб збільшити ємність клієнта (кількість клієнтів, що обслуговуються одночасно). У типовій процедурі MSC

необхідно його замінити. Однак витрати на MSC часто вищі, ніж витрати на MGW, тому оператори використовують опції як у радіостанціях GERAN, так і в UTRAN.

1.1.3 Структура системи LTE



E-UTRAN	Evolved UTRAN	Еволюційна мережа радіодоступу
eNB	Evolved Node B	Еволюційна базова станція
EPC	Evolved Packet Core	Еволюційне пакетне "ядро"
MME	Mobility Management Entity	Компонент управління мобільністю
MSC-S	Mobile Switching Center Server	Сервер центру комутації мобільних послуг
VLR	Visitor Location Register	Візитний реєстр місцезнаходження
EIR	Equipment Identity Register	Реєстр ідентифікації обладнання
HSS	Home Subscriber Server	Домашній абонентський сервер
SGSN	Serving GPRS Support Node	Вузол підтримки пакетного сервісу
BSC	Base Station Controller	Контролер базових станцій
RNC	Radio Network Controller	Контролер радіомережі
S-GW	Serving Gateway	Обслуговуючий шлюз
P-GW	Packet Data Network Gateway	Шлюз мережі пакетних даних
PCRF	Policy and Charging Rules Function	Функція правил підписки і оплати
VPCRF	Visited PCRF	Функція PCRF в іншій мережі

Рис. 1.5. Структура системи LTE

Мета модернізації мережі – це підвищення швидкості передачі пакетних даних.

Таблиця 1.1

Функції	Складові функцій
eNB	<ul style="list-style-type: none"> - Передача широкомовної інформації; - Обробка викликів за допомогою мобільної станції та пакетного ядра; - Виміряти радіоінтерфейс ; - Динамічний розподіл ресурсів каналу ; - Системна передача через інтерфейс X2 між базовими станціями.
S-GW	<ul style="list-style-type: none"> - Маршрутизація пакетів; - Коли мобільна станція не використовується, буферизація пакетів (накопичення) на станції для прямої передачі - У цьому випадку мобільна станція підключається до Інтернету через мережу доступу UTRAN або GERAN для підтримки міжсистемної передачі.
P-GW	<ul style="list-style-type: none"> - Призначення IP-адрес мобільним сайтам; - Фільтрувати пакети даних за певними критеріями; - Взаємодія з несертифікованими мережами 3GPP, такими як Wi-Fi, WiMAX тощо.
MME	<ul style="list-style-type: none"> - Створення та обробка повідомлень сигналізації; - Забезпечити безпеку мережі; - Управління міжсистемним хендовером.

Базовий пакет може містити кілька MME і кілька шлюзів обох типів. Шлюзи регулюють правила реєстрації послуг, а також формують фінансові дані між споживачами (PCRF) і операторами (VPCRF).

1.2. Методи доступу в радіомережі

У радіоінтерфейсі (рис. 1.6) канал передачі інформації від базової станції до мобільної станції називається «прямим каналом», а від мобільної станції до базової станції - «зворотним каналом».

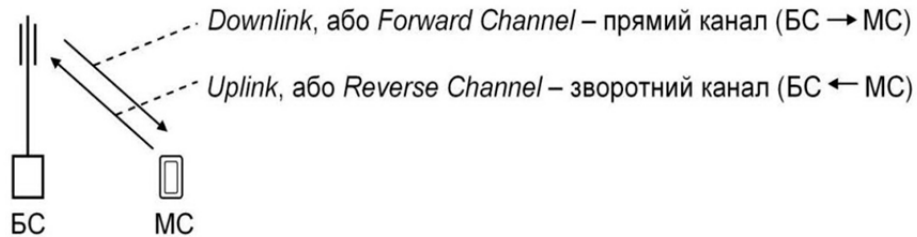


Рис. 1.6. Вигляд радіоінтерфейсу каналу передачі інформації

Частоти радіосигналів різні у прямому і зворотному каналі. Цей метод радіозв'язку, який зображено на рисунку 1.7 називається FDD (Frequency Division Duplex) – двобічний зв'язок з частотним розділенням сигналів:

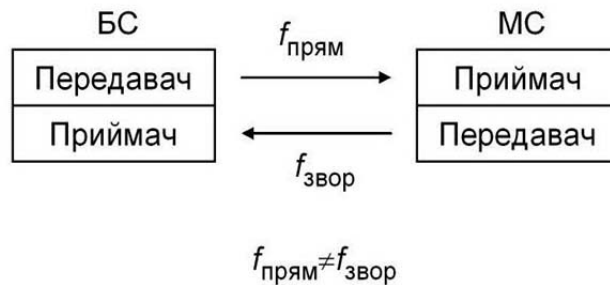
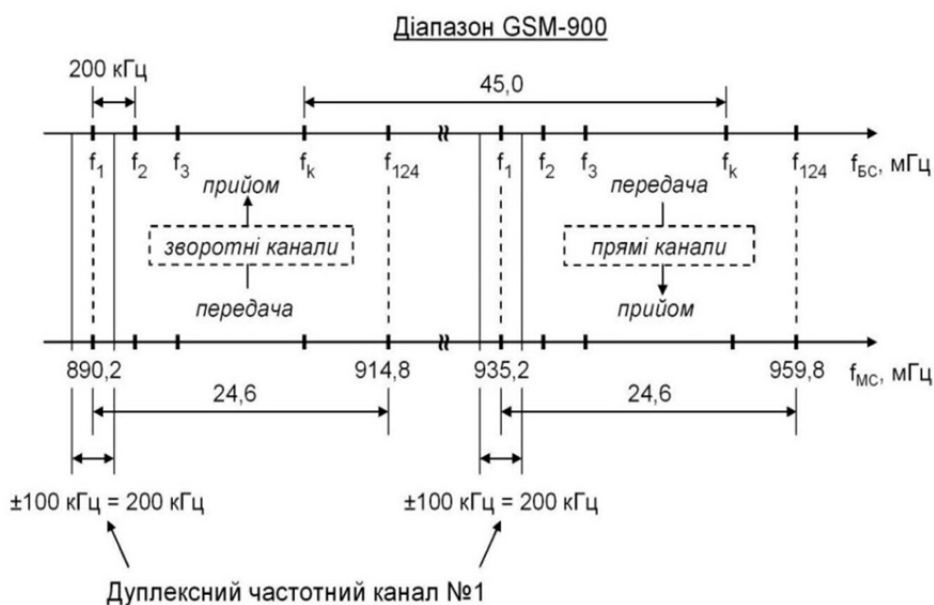


Рис. 1.7. Метод радіозв'язку FDD

Канали радіозв'язку в секторі розділені методами FDMA і TDMA(Frequency (Time) Division Multiple Access) – це множинний доступ, тобто доступ кількох мобільних станцій до однієї базової станції з розділенням каналів зв'язку за частотою та часу в радіоінтерфейсі.

1.2.1 Метод FDMA

На цьому рисунку наведені частотні параметри радіоінтерфейсу.



Параметр	Діапазон		
	(P)GSM-900	EGSM-900	GSM-1800
Піддіапазон прямих каналів (БС → МС), МГц	935,2... 959,8	925,2... 959,8	1805,2... 1879,8
Піддіапазон зворотних каналів (МС → БС), МГц	890,2... 914,8	880,2... 914,8	1710,2... 1784,8
Ширина піддіапазону, МГц	24,6	34,6	74,6
Кількість частотних каналів	124	174	374
Дискретність частот, кГц	200	200	200
Рознесення частот прямого і зворотного каналів, МГц	45,0	45,0	95,0
Ширина частотного каналу, кГц	200	200	200

Рис. 1.8. Частотні параметри

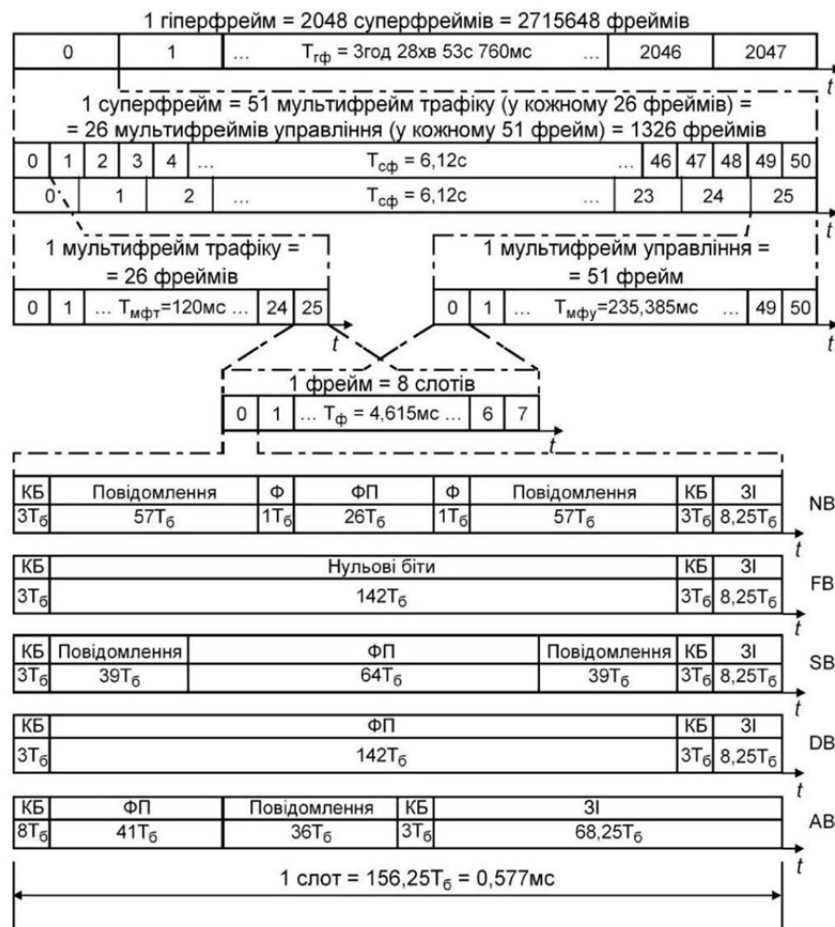
У назвах діапазонів *P* (Primary, це необов'язковий префікс) означає первинний або основний, *E* (Extended) – розширений.

Двочастотний канал (ДЧК) — це два діапазони частот. Кожен канал має ширину 200 кГц, і цей діапазон складається зі спектру модульованих радіосигналів, що передаються та приймаються однією мобільною станцією.

Ліцензовані діапазони частот розподіляються між операторами. Оператор розподіляє свої частотні канали в зоні PLMN. Територія поділена на кластери. Кластер складається з певної кількості мобільних станцій. У межах кластера кожен частотний канал використовується один раз.

1.2.2 Метод TDMA

На рисунку 1.9 наведено структуру системних інтервалів часу.



Тривалість біта $T_b = (48/13) \text{ мкс} = 3,69 \text{ мкс}$

КБ - кінцеві біти

Ф - флаг

ЗІ - захисний інтервал

ФП - фіксована послідовність

NB	Normal Burst	Нормальний пакет
FB	Frequency Correction Burst	Пакет корекції частоти
SB	Synchronization Burst	Пакет синхронізації
DB	Dummy Burst	Неінформаційний пакет
AB	Access Burst	Пакет доступу

Рис. 1.9. Системні інтервали часу

Найменший інтервал дорівнює тривалості одного біта T_b . Інтервал $156,25T_b$ має назву "слот" (slot). У радіоінтерфейсі застосовують 5 видів слотів.

Слот NB призначений для передачі 114-бітних повідомлень: це кодова інформація користувача (трафік) або керуюча інформація (сигналізація). Тип даних вказується двоохбітовим "флагом", який передається двома інтервалами "Ф". Значення флагу:

00 – повідомлення це абонентська інформація;

11 – повідомлення це інформація управління;

01 – повідомлення це 57 бітів абонентської інформації та 57 бітів інформації управління;

10 – повідомлення це 57 бітів інформації управління та 57 бітів абонентської інформації.

Для вимірювання якості прийому радіосигналу використовують фіксовану послідовність (ФП). Кінцеві біти (КБ) вказують на початок і кінець сигналу в слоті. Інтервал $3 T_b$ містить 010 біт, а інтервал $8 T_b$ містить 00111010 біт. Захисний інтервал (ЗІ) — це порожній інтервал, де не передаються біти.

Слоти FB і SB призначені для передачі ширококомовної керуючої інформації, спрямованої на кожну мобільну станцію. Під час перерв у передачі даних базова станція використовує слот DB. Слот AB використовується для передачі запитів на доступ до мережі мобільної станції.

Таким чином, лише слот NB використовуються для передачі інформації клієнта, а всі інші типи слотів використовуються для передачі керуючої інформації.

Вісім послідовних слотів – це інтервал, який має назву "фрейм" (frame). Одна мобільна станція має один фіксований пронумерований слот (0, 1, ... 7) і використовує цей слот для кожного фрейму або через фрейм.

Часовий канал – це слот, який містить певний номер та періодично повторюється. У режимі FR одна мобільна станція використовує один такий

канал. У режимі HR дві мобільні станції використовують один канал, що збільшує абонентську ємність системи, тобто кількість абонентів, яким одночасно надають послугу. На практиці режим HR реалізований в системі GSM-1900, що працює в США.

1.2.3 Метод CDMA

CDMA (Code Division Multiple Access) – множинний доступ з кодовим розділенням каналів зв'язку.

Цифровий інформаційний сигнал $d(t)$ помножують на цифровий опорний сигнал $s(t)$. І отримують сигнал $u(t)$.

Перетворення сигналу $d(t)$ в сигнал $u(t)$ називається DSSS, Direct Sequence Spread Spectrum – «пряма послідовність», тобто розширення спектру за допомогою опорного сигналу. Оскільки зміна одного біта $d(t)$ перетворює сигнал $u(t)$, тому також використовується термін «цифрова модуляція». Це означає, що цифровий сигнал $d(t)$ модулює інший цифровий сигнал $s(t)$. Тоді принцип радіозв'язку на основі DSSS буде полягати в наступному (рисунок 1.10):

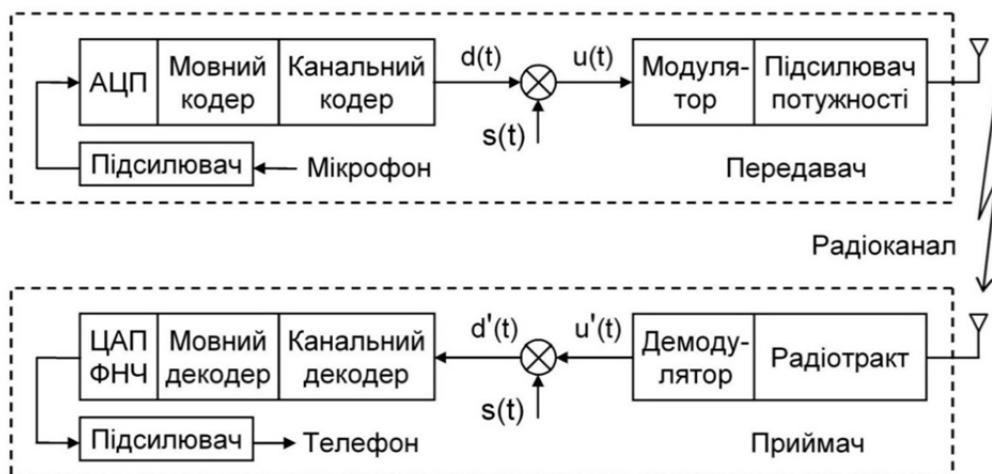


Рис. 1.10. Принцип радіозв'язку на основі DSSS

Мобільні мережі використовують серію сигналів, які називаються «кодами». Кожній мобільній станції призначається два різні коди, один для прямого каналу та один для зворотного каналу. Сигнал радіоінтерфейсу не розрізняється методами FDMA і TDMA, тому сигнал від будь-якого передавача можна отримати, вставивши приймач.

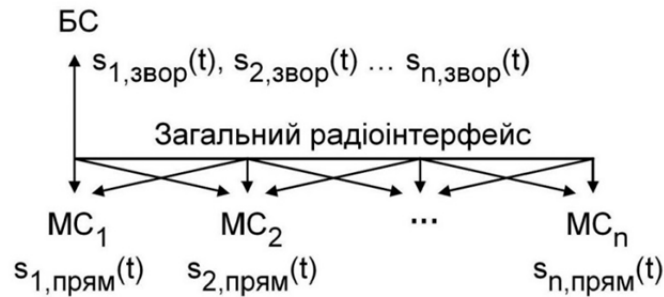


Рис. 1.11. Метод розподілення БС від кількох мобільних станцій

У цьому методі приймач базової станції розділяє сигнали від кількох мобільних телефонів, а мобільний оператор передає лише свій власний сигнал із отриманих кількох сигналів. Для цього застосовують метод кореляційного приймання.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1

У цьому розділі було розглянуто принцип побудови стільникових систем на основі структур систем GSM, UMTS, LTE, їх переваги та особливості.

Також розглянуті та проаналізовані методи доступу в радіомережі по каналах радіозв'язку (методи FDMA, TDMA та CDMA).

РОЗДІЛ 2

ПІДСИСТЕМА ПЕРЕДАЧІ ПАКЕТНИХ ДАНИХ

2.1. Структура підсистеми

Передача даних в каналі трафіку ТСН називається CSD (Circuit Switched Data) – передача даних в комутованому каналі, яка пропонується абоненту протягом тривалості з'єднання. Максимальна швидкість передачі бітів, що надходять від джерела даних (терміналу або факса) дорівнює 14,4 кбіт/с. У режимі HSCSD (High Speed CSD) МС використовує 2, 3 або 4 слоти у фреймі. Максимальна швидкість передачі даних становить $(14,4 \text{ кбіт/с}) * 4 = 57,6 \text{ кбіт/с}$. Ціна цієї послуги подібна до передачі мови і пропорційна часу між встановленням і завершенням з'єднання.

Передача даних згідно IP-протоколу здійснюється за допомогою GPRS (General Packet Radio Service) – це загальний сервіс пакетної радіопередачі. На відміну від CSD, мобільна станція використовує частотно-часовий канал тільки для передачі або прийому пакетів, тому вартість цієї послуги пропорційна об'єму даних. Безлімітні тарифи діють на розсуд оператора.

На рисунку 2.1. наведено структуру пакетної підсистеми.

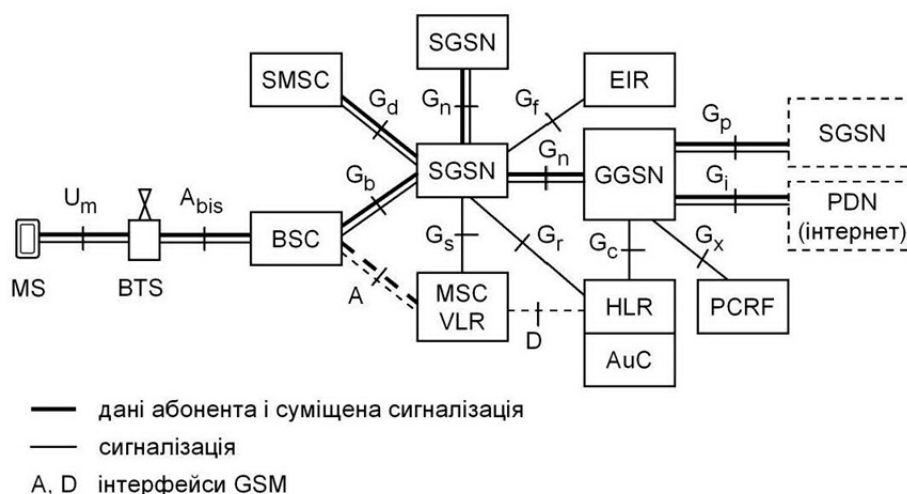


Рис. 2.1. а) Структура підсистеми GPRS

SGSN	Serving GPRS Service Node	Сервер GPRS
GGSN	Gateway GPRS Service Node	Шлюз GPRS
PCRF	Policy and Charging Rules Function	Функція правил підписки та оплати
PDN	Packet Data Network	Мережа передачі пакетних даних

Рис. 2.1. б) Компоненти структури підсистеми GPRS

SGSN (Serving GPRS Service Node) — це сервісний вузол або сервер, який реєструє мобільну станцію та маршрутизацію пакетів. Сервер має реєстр, який зберігає таку інформацію:

- Номери IMSI зареєстрованих мобільних станцій;
- Дані про підписку клієнтів;
- Визначення зон обслуговування, де розташовані мобільні станції;
- Системні параметри.

GGSN (Gateway GPRS Service Node) — це вузол з функцією шлюза, який з'єднує сервер і зовнішню пакетну мережу. Шлюз перетворює пакети з сервера в IP-пакети, відправляє їх у зовнішню мережу, а також виконує зворотне перетворення отриманих IP-пакетів. Шлюз має власний реєстр, який зберігає:

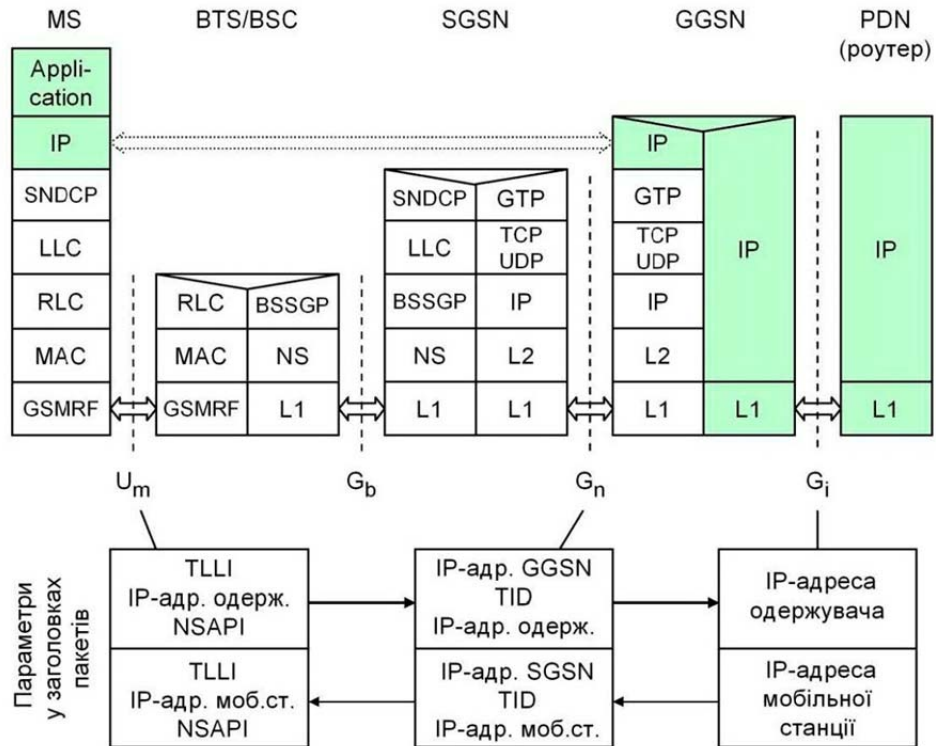
- Веб-адреси операторів мобільного зв'язку;
- Дані про підписку клієнтів;
- Системні параметри.

PCRF (Policy and Charging Rules Function) — програма, яка забезпечує фінансові розрахунки на основі умов підписки на послугу.

Мережа оператора може мати кілька вузлів SGSN і GGSN, підключених за принципом "кожен сервер з кожним шлюзом".

2.2 Паке́тний радіоінтерфейс

На рисунку 2.2 наведено протоколи, які забезпечують передачу даних і суміщеної сигналізації.



TLLI Temporary Logical Link Identity
 NSAPI Network Service Access Point Identifier
 TID Tunnel Identifier

SNDCP SubNetwork Dependent Convergence Protocol
 GSMRF GSM RadioFrequency protocol
 BSSGP Base Station System GPRS Protocol

LLC Logical Link Control GTP GPRS Tunelling Protocol
 RLC Radio Link Control TCP Transmission Control Protocol
 MAC Medium Access Control UDP User Datagram Protocol
 NS Network Service IP Internet Protocol

Рис. 2.2. Протоколи площини передачі

Радіоінтерфейс U_m

Application — це пакетні додатки в мобільній станції, таких як браузер, месенджер або клієнт електронної пошти, тощо. Кожна програма відповідає

номеру NSAPI, який є ідентифікатором точки доступу для мережевих служб. Це число динамічно визначається процесором мобільної станції. Пакетна програма створює IP-пакети, заголовки яких містять адресу одержувача пакету та адресу мобільної станції.

Протокол SNDCP визначає обмін пакетами між мобільною станцією та сервером. Під час передачі пакетів виконуються такі дії:

- мультиплексування - передача даних з декількох додатків з в одному логічному з'єднанні нижчого рівня;
- компресія, тобто зменшений об'єм пакета;
- сегментація – розділення пакетів на частини для подальшої обробки.

Протокол LLC описує логічне з'єднання мобільної станції і сервера. З'єднання має номер TLLI, який обчислюють на основі номера P-TMSI.

Протокол RLC забезпечує надійність логічного з'єднання між мобільною станцією і базовою станцією. Для цього виконуються сегментацію блоків LLC і повторну передачу блоків RLC за методом ARQ.

Протокол MAC дозволяє мобільним станціям отримувати доступ до пакетних послуг і описує наступні функції:

- мультиплексування каналів - це послідовне використання фізичного каналу кількома мобільними станціями;
- використання мобільною станцією декількома фізичними каналами для збільшення швидкості передачі;
- управління доступом на основі черги, пріоритету та розкладу передачі пакетів.

Протокол GSMRF аналогічний протоколам системи GSM. На цьому рівні виконується каналне кодування MAC-пакетів, а також модуляція і передача радіосигналів.

Інтерфейс **Gb**

Протокол BSSGP є частиною протоколу BSSMAP, який доповнює систему сигналізації №7.

Протокол NS забезпечує формування блоків PDU (Protocol Data Unit). Структура цих блоків відповідає фізичній мережі зв'язку між контролером і сервером. Цей тип каналу описується протоколом рівня L1.

Інтерфейс **Gn**

Пакетна підсистема може складатися з кількох серверів і шлюзів, підключених через внутрішньо-мережну магістраль. Логічний канал зв'язку між сервером і шлюзом називається "тунель". Ці канали мають номери TID, які складаються на основі номерів IMSI та NSAPI.

Протокол GTP визначає процедури пакетного обміну через тунель між сервером і шлюзом.

Протокол TCP або UDP використовується залежно від класу QoS. Протокол TCP більш складний і передбачає повторну передачу пакетів GTP, які отримуються з помилками.

Протокол IP забезпечує внутрішньо-мережну IP-адресацію під час процесу взаємодії між сервером і шлюзом. Процедури протоколів на рівнях L2 (забезпечення ARQ) і L1 (передача у фізичному каналі) залежить від технічної реалізації внутрішньо-мережної магістралі.

Ідентифікатори TLLI та TID відповідають тільки одному PDP-контексту, тобто індивідуальними номерами мобільної станції. Це дозволяє системі надсилати пакети до кількох пунктів призначення через стандартний інтерфейс GPRS.

2.2.1 Логічні канали

Контролер BSC розподіляє слоти у фреймі для передачі логічних каналів GSM і GPRS:

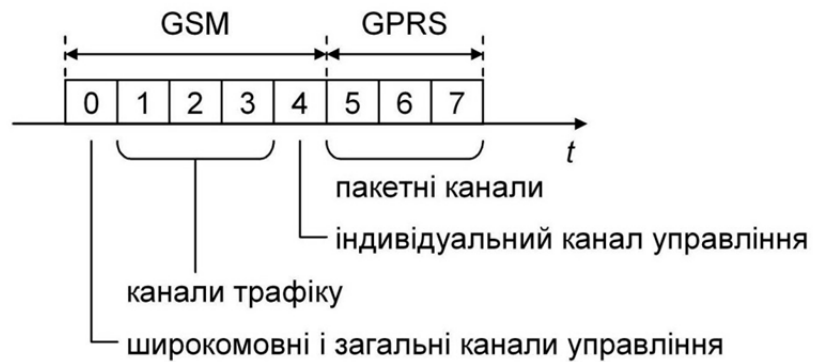


Рис. 2.3. Розподілення слотів у фреймі

На рисунку 2.4 наведено види логічних каналів.

Канал трафіку		
PDTCH	Packet Data Traffic Channel - канал пакетного трафіку	БС ↔ МС
Канали управління		
PBCCCH	Packet Broadcast Control Channel - пакетний ширококомовний канал управління	БС → МС
Загальні канали		
PPCH	Packet Paging Channel - пакетний канал виклику	БС → МС
PRACH	Packet Random Access Channel - пакетний канал випадкового доступу	БС ← МС
PAGCH	Packet Access Grant Channel - пакетний канал дозволу доступу	БС → МС
Виділені канали		
PACCH	Packet Associated Control Channel - пакетний суміщений канал управління	БС ↔ МС
PTCCH	Packet Timing Advance Control Channel - пакетний канал управління зсувом слотів	БС ↔ МС

Рис. 2.4. Логічні канали

PDTCH – канал для передачі пакетного трафіку абонента.

PBCCN – канал, в якому базова станція передає інформацію про системні параметри.

Мобільна станція класу А або В може приймати цей канал замість BCCH мережі GSM.

PRCH – канал, який використовує сервер для пошуку мобільної станції.

Мобільна станція прослуховує цей канал і канал PBCCN в стані очікування.

PRACH – канал для передачі запиту мобільної станції на підключення до сервісу.

PAGCH – канал, який використовує контролер для призначення каналу трафіку.

PACCH – канал для передачі результатів вимірювання якості приймання і команди регулювання потужності передавача мобільної станції.

PTCCN – канал, який містить зсув слотів для мобільної станції.

2.2.2 Сервіс EDGE (Enhanced Data Rate for GSM Evolution)

Підвищення швидкості передачі забезпечує модуляція 8PSK, Phase Shift Keying – передача даних із зсувом фази радіосигналу.

На вході модулятора потік бітів розділяють на групи. Одна група містить 3 біти, це двійкові комбінації (000, 001, ..., 111). Кількість комбінацій дорівнює $2^3 = 8$. Кожній комбінації відповідає гармонічний сигнал з певною початковою фазою

$$u(t) = u_m \sin(\omega t + \varphi_i), \quad (2.1)$$

де $\varphi_i = (\pi/8) + i*(\pi/4)$, $i = 0...7$ – номер двійкової комбінації. Наприклад, $\varphi_0 = \pi/8 = 22,5^\circ$ при передачі 000, $\varphi_1 = \pi/8 + \pi/4 = 67,5^\circ$ при передачі 001, тощо.

Під час передачі бітового потоку радіосигнал є послідовністю відрізків гармонічного сигналу з однаковою частотою $\omega=2\pi f$ і різною початковою фазою φ_i .

Аналогічно сигналу GMSK, мінімальна тривалість такого відрізка дорівнює T_b , тому сигнали 8PSK і GMSK мають приблизно однакову спектральну ширину. Отже, сигнал 8PSK можна передавати по звичайному радіоканалу зі смугою пропускання 200 кГц.

Швидкість передачі бітів в інтервалах T_b дорівнює

$$(n/\Delta t)_{EDGE} = (3 \text{ біти})/T_b = 812,499 \text{ кбіт/с} = 3(n/\Delta t)_{GPRS} , \quad (2.2)$$

Швидкість передачі даних залежить від схеми кодування і модуляції (СКМ).

Таблиця 2.1

Номер СКМ	Модуляція	Швидкість в слоті, кбіт/с
1...4	GMSK	8,8...17,6
5...9	8PSK	22,4...59,2

Контролер задає номер СКМ на основі повідомлень мобільної станції про якість приймання. Чим більше відношення (сигнал+шум)/шум в радіоканалі, тим більше номер СКМ і швидкість передачі. Максимальна швидкість відповідає СКМ9, якщо мобільна станція використовує 8 слотів у фреймі: $(59,2 \text{ кбіт/с}) \cdot (8 \text{ слотів}) = 473,6 \text{ кбіт/с}$.

Фактична швидкість передачі даних в GPRS/EDGE залежить від якості радіоканалу і кількості мобільних станцій в черзі на обслуговування.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2

У цьому розділі було розглянуто структуру підсистеми передачі пакетних даних. Проаналізовані протоколи, що забезпечують передачу даних у інтерфейсах Um, Gb, Gn. Описані логічні канали GSM і GPRS.

РОЗДІЛ 3. УЩІЛЬНЕННЯ ПРЯМИХ РАДІОКАНАЛІВ

3.1. Квадратурна фазова маніпуляція (QPSK)

Чотирьохпозиційна фазова маніпуляція (QPSK), або квадратурна PSK, як її іноді називають, є іншою формою кутової модуляції з постійною амплітудою цифрової модуляції. QPSK — це схема кодування M -рівня, де $N = 2$ і $M = 4$ (звідси назва «чотиризначна»). З QPSK можливі чотири вихідні фази для однієї несучої частоти. Так як на виході може бути чотири фази, то і на вході повинно бути чотири різні можливі стани. Оскільки цифровий сигнал на вході модулятора QPSK є двійковим, то для створення чотирьох різних вхідних комбінацій, модулятору потрібно більше, ніж один вхідний біт для визначення вихідних умов. Існують чотири дійсні стани для двох біт: 00, 01, 10 і 11. Таким чином, QPSK об'єднує двійкові вхідні дані в групи з двох бітів, які називаються дібітами (парами бітів). У модуляторі кожен два біта створюють один із чотирьох рівнів вихідних фаз (+ 45 градусів, + 135 градусів, - 45 градусів і - 135 градусів). Таким чином, кожна пара вхідних бітів модулятора відповідає одній зміні фази на виході, а вихідна швидкість фазової зміни (у бодах) дорівнює половині вхідної швидкості (тобто два вхідні біти, які змінюють вихідну фазу несучої).

Структурна схема модулятора QPSK показана на рисунку 3.1. Два біти синхронізуються в роздільнику бітів. Після того, як обидва біти були введені послідовно, вони одночасно виводяться паралельно. Один біт надсилається до каналу I, а інший біт – до каналу Q. Біт I модулює несучу, яка знаходиться у фазі з сигналом опорного генератора (звідси назва «I» для каналу «в фазі»), а біт Q модулює несучу, фаза якої зміщена на 90° або знаходиться в квадратурі з опорною несучою (звідси назва «Q» для «квадратурного» каналу).

Можна побачити, що розподіл пари бітів між I та Q каналами виконує ті ж операції, що і в модуляторі BPSK. Модулятор QPSK в основному складається з двох модуляторів BPSK, з'єднаних паралельно. Знову ж таки, для логічного 1 = +1 В і логічного 0 = -1 В, тому можливі дві фази ($+1\sin \omega_c t$ і $-1\sin \omega_c t$) на виході збалансованого модулятора I, та дві фази ($+1\cos \omega_c t$ і $-1\cos \omega_c t$) на виході збалансованого модулятора Q. Після об'єднання лінійним суматором двох квадратурних сигнала (які відрізняються за фазою на 90°), ми отримуємо чотири сигнали: $+\sin \omega_c t + \cos \omega_c t$, $+\sin \omega_c t - \cos \omega_c t$, $-\sin \omega_c t + \cos \omega_c t$ та $-\sin \omega_c t - \cos \omega_c t$.

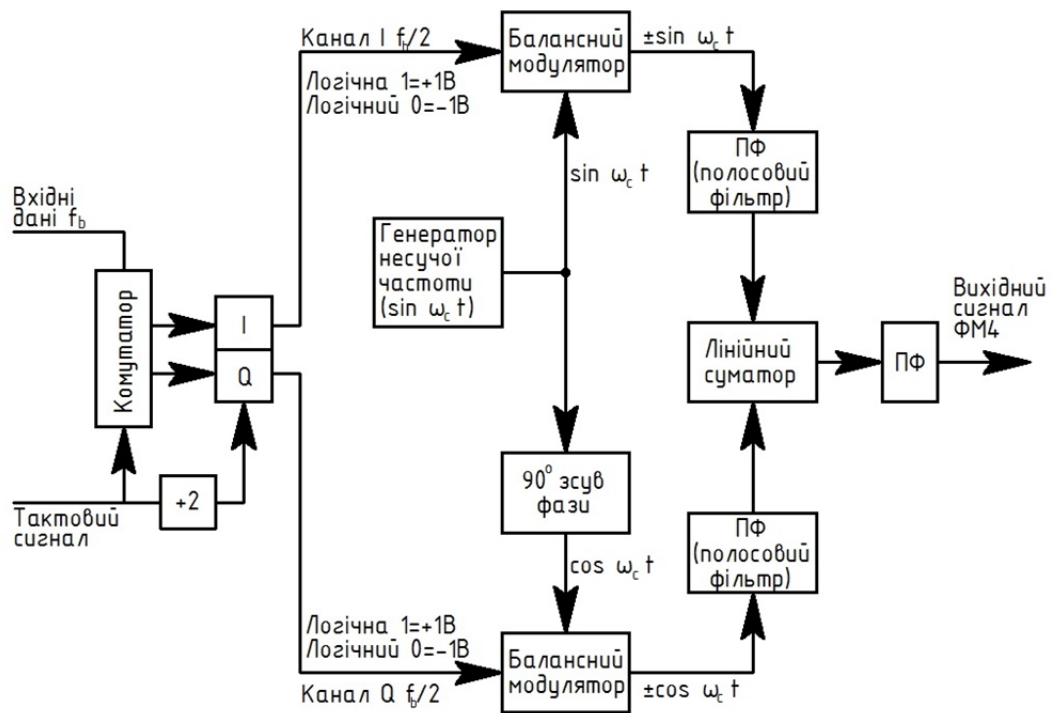


Рис. 3.1. Модулятор QPSK

Оскільки вхідні дані QPSK розділені на два канали, швидкість каналу I та каналу Q дорівнює половині швидкості вхідних даних $f_b/2$. (За замовчуванням комутатор подвоює довжину бітів у каналах I та Q, як довжину вхідного біта). Таким чином, максимальна основна частота присутня на вході даних балансних модуляторів I або Q, яка дорівнює одній чверті швидкості вхідних даних комутатора (половині $f_b/2 = f_b/4$). Як

наслідок, для вихідного сигналу балансних модуляторів I та Q необхідна мінімальна двостороння смуга пропускання Найквіста, що дорівнює половині вхідної бітової швидкості ($f_N = 2 * (f_b/4) = f_b/2$). Таким чином, в QPSK відбувається стиснення пропускну здатності (необхідна мінімальна пропускну здатність менша за вхідну швидкість передачі даних). Оскільки вихідний сигнал QPSK не змінює фазу до того, як пара бітів увійде до комутатора, то найшвидша вихідна швидкість зміни (бод) також дорівнює половині вхідної швидкості бітів. Як і у BPSK, мінімальна пропускну здатність і швидкість передачі рівні. Ця залежність показана на рисунку 3.2.

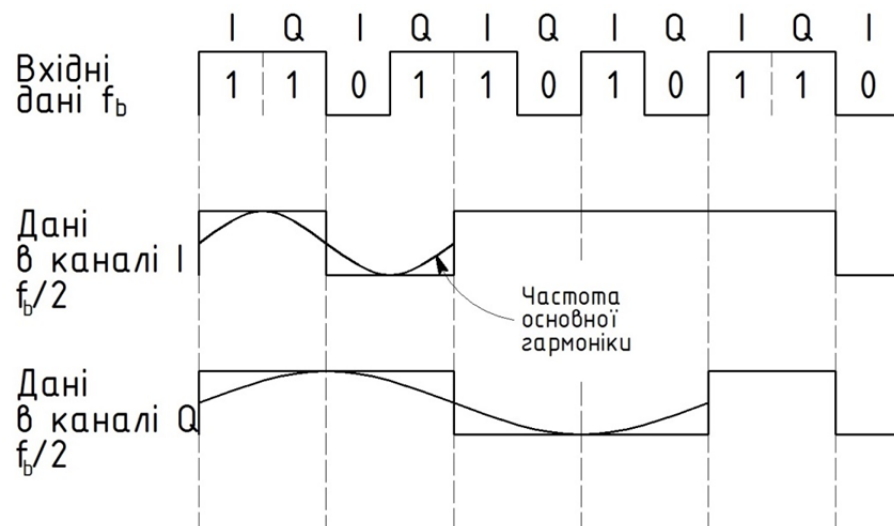


Рис. 3.2. Часові діаграми сигналів при QPSK

На рисунку 3.2 можна побачити, що в гіршому випадку на вході балансних модуляторів I або Q представляє собою послідовність чергування 1 і 0, яка виникає, якщо потік даних на вході представляє повторювану комбінацію 1100. Один цикл найшвидшого бінарного переходу (послідовність 1/0) у каналі I або Q займає той самий час, що дорівнює чотирьом бітам вхідних даних. Тому максимальна основна частота на вході і максимальна швидкість зміни на виході збалансованих модуляторів дорівнює одній чверті біт на вході.

Вихідний сигнал збалансованого модулятора можна виразити наступним чином:

$$S_{QPSK} = (\sin \omega_a t)(\sin \omega_c t), \quad (3.1)$$

де $\omega_a t = 2\pi \frac{f_b}{4} t$ – модулюючий сигнал; $\omega_c t = 2\pi f_c t$ – сигнал-переносник.

Таким чином, підставляючи параметри в (3.1) отримаємо:

$$S_{QPSK} = (\sin 2\pi \frac{f_b}{4} t)(\sin 2\pi f_c t),$$

$$\frac{1}{2} \cos 2\pi \left(f_c - \frac{f_b}{4} \right) t - \frac{1}{2} \cos 2\pi \left(f_c + \frac{f_b}{4} \right) t.$$

Діапазон частот на виході займає смугу від $f_c - \frac{f_b}{4}$ до $f_c + \frac{f_b}{4}$, а мінімальна ширина смуги f_N дорівнює:

$$f_N = \left(f_c + \frac{f_b}{4} \right) - \left(f_c - \frac{f_b}{4} \right) = \frac{2f_b}{4} = \frac{f_b}{2}. \quad (3.2)$$

Структурна схема демодулятора QPSK показана на рисунку 3.3. Розгалужувач потужності спрямовує вхідний сигнал QPSK на схеми перемноження I і Q та на схему відновлення несучої. Схема відновлення несучої відтворює вихідний сигнал генератора несучої передачі. Відновлена несуча повинна бути когерентною частоті та фазі з опорною несучою передачі. Сигнал QPSK перемножується в демодуляторах I і Q, які генерують вихідні біти даних I і Q. З виходів демодуляторів біти подаються до схеми об'єднання, де вони перетворюються з паралельних каналів даних I та Q в єдиний двійковий потік вихідних даних.

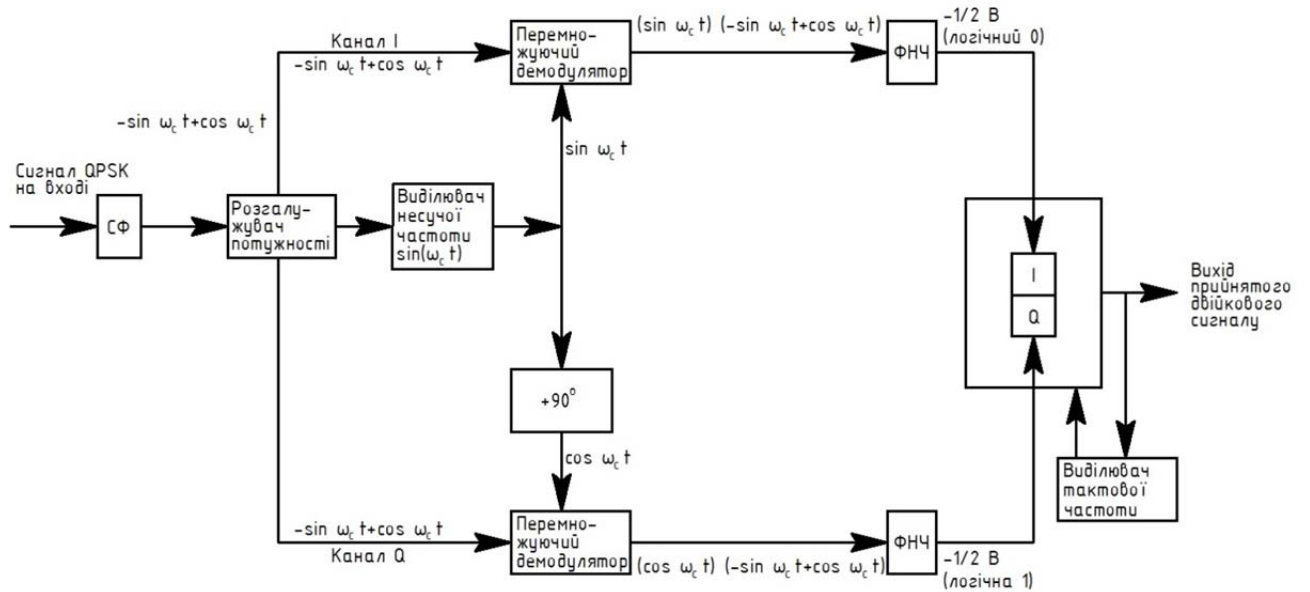


Рис. 3.3. Демодулятор QPSK

Вхідний сигнал QPSK може бути будь-якою з чотирьох можливих вихідних фаз. Щоб проілюструвати процес демодуляції, нехай вхідний сигнал QPSK буде $-\sin \omega_c t + \cos \omega_c t$. Математично процес демодуляції виглядає наступним чином.

Прийнятий сигнал QPSK $-\sin \omega_c t + \cos \omega_c t$ присутній на одному вході демодулятора І. На інший вхід подається відновлений сигнал несучої $\sin \omega_c t$. На виході схеми перемноження І буде наступний сигнал:

Перетворюючи, отримаємо:

$$I = \underbrace{(-\sin \omega_c t + \cos \omega_c t)}_{\text{Вхідний сигнал QPSK}} * \underbrace{\sin \omega_c t}_{\text{Несуча}} \quad (3.3)$$

Перетворюючи (3.3), отримаємо:

$$\begin{aligned} I &= (-\sin \omega_c t) * \sin \omega_c t + (\cos \omega_c t) * \\ &* \sin \omega_c t = -\sin^2 \omega_c t + (\cos \omega_c t) \sin \omega_c t = -\frac{1}{2} (1 - \\ &- \cos 2\omega_c t) + \frac{1}{2} \sin(\omega_c + \omega_c)t + \frac{1}{2} \sin(\omega_c - \omega_c)t = \\ &= -\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \underbrace{\cos 2\omega_c t}_{\text{Відфільтрований}} + \frac{1}{2} \underbrace{\sin 2\omega_c t}_{\text{дорівнює 0}} + \frac{1}{2} \sin 0t = -\frac{1}{2} \text{В} - \text{логічний 0.} \end{aligned}$$

Нехай сигнал, що дорівнює $-\sin \omega_c t + \cos \omega_c t$, представлений на одному вході демодулятора Q. Іншим входом є відновлена несуча, зміщена на 90° за фазою ($\cos \omega_c t$). Тоді сигнал на виході перемножувача Q дорівнює:

$$Q = \underbrace{(-\sin \omega_c t + \cos \omega_c t)}_{\text{Вхідний сигнал QPSK}} * \underbrace{\sin \omega_c t}_{\text{Несуча}} \quad (3.4)$$

Перетворюючи (3.4), отримаємо:

$$\begin{aligned} Q &= (-\sin \omega_c t) \cos \omega_c t + (\cos \omega_c t) \cos \omega_c t = \\ &= -\sin \omega_c t \cos \omega_c t + \cos \omega_c t \cos \omega_c t = \cos^2 \omega_c t - \sin \omega_c t \cos \omega_c t = \frac{1}{2} (1 + \\ &+ \cos 2\omega_c t) - \frac{1}{2} \sin(\omega_c + \omega_c)t - \frac{1}{2} \sin(\omega_c - \omega_c)t = \\ &= \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \underbrace{\cos 2\omega_c t}_{\text{Відфільтрований}} - \frac{1}{2} \underbrace{\sin 2\omega_c t}_{\text{дорівнює 0}} + \frac{1}{2} \sin 0t = \frac{1}{2} \text{В} - \text{логічний 1.} \end{aligned}$$

3.2 Адресація каналів

Розглянемо наступну задачу, в радіоінтерфейсі необхідно передати інформацію двом мобільним станціям, які використовують однаковий частотний радіоресурс. Цю задачу можна вирішити використовуючи ортогональні субканали (ОСК). Принцип формування цих ОСК полягає в наступному – після використання некорельованих фіксованих послідовностей, ОСК може подвоїти пропускну здатність голосового зв'язку з незначним впливом на мобільні телефони та мережі. Концепція може передбачати AMR із чвертю (1/4) швидкості на основі ортогонального субканала із застосуванням параметрів половинної швидкості (ТСН/Н). ОСК, що застосовується для ТСН/В, може покращити продуктивність зв'язку для каналів HR.

Концепція ортогонального субканалу в низхідній лінії зв'язку базується на модуляції, подібної до QPSK. Параметри модуляції можуть бути

обрані таким чином, щоб приймач GMSK міг використовуватися для прийому одного з двох одночасних субканалів.

У напрямку висхідної лінії зв'язку ортогональний субканал може використовувати справжню GMSK з новою фіксованою послідовністю. Передбачається, що BTS може використовувати рознесення приймачів, наприклад за допомогою об'єднання придушення перешкод (IRC), послідовного придушення перешкод (SIC) або спільного виявлення (JD) для прийому двох одночасних субканалів.

Ортогональний субканал на базі телефону GMSK дозволяє подвоїти кількість каналів. Ключовою зміною є введення нових фіксованих послідовностей у поєднанні з існуючими фіксованими послідовностями для мінімальної крос-кореляції кореляції, що дає змогу розділити субканали. Перший субканал може використовувати існуючу фіксовану послідовність, а другий субканал повинен використовувати нову як для низхідної, так і для висхідної лінії зв'язку.

ОСК можна використовувати для TCH/F, TCH/H та відповідних каналів SACCH та FACCH, що робить його максимально прозорим для всіх каналів трафіку з модуляцією GMSK.

Передавач BTS використовує сузір'я типу QPSK, яке може бути підмножиною сузір'я 8PSK, що використовується для EGPRS. Модулюючі біти відображаються на символах QPSK, тобто "дібіти". Таким чином, перший субканал (ОСК-0) відображається в MSB, а другий субканал (ОСК-1) відображається в LSB. Обидва субканали можуть використовувати індивідуальне шифрування.

МС можуть використовувати звичайний передавач GMSK з відповідною фіксованою послідовністю. Передбачається, що BTS використовує або приймач просторово-часового придушення перешкод (STIRC), або приймач послідовного придушення перешкод (SIC) для прийому ортогональних субканалів, що використовуються різними мобільними станціями. BSS повинна застосовувати контроль потужності

висхідної лінії зв'язку, який отримується за допомогою схеми динамічного розподілу каналів (ДПК), щоб утримувати різницю в рівнях отриманого сигналу висхідної лінії зв'язку спільно призначених субканалів.

Структура пакету має бути сумісною з існуючими пакетами. Існуючі кінцеві біти GMSK та захисні біти можуть застосовуватись для обох субканалів окремо. Набір нових фіксованих послідовностей, призначених для другого субканалу, поєднується з поточними фіксованими послідовностями для найнижчої крос-кореляції з оптимальною автокореляцією та наводиться у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Набір нових фіксованих послідовностей у парі з поточними

Код фіксованої послідовності	Біти фіксованої послідовності
0	00101101110111010001111011
1	00010001111010010010001000
2	01110100100001000100011110
3	01000100011100001011011101
4	01000101100001011000100000
5	01011111001001110010100000
6	01110111100101111001000101
7	00101011001111110011110101

Для перетворення бітів у QPSK-подібне сузір'я на основі модулятора 8PSK потрібно використовувати два підканали, які будуть ортогонально відображатися в символ QPSK. Зазвичай це досягається за допомогою методу квадратурної амплітудної модуляції.

Квадратурна амплітудна модуляція використовує два незалежних сигнали (квадратурний сигнал і сигнал зсуву фази), які передаються одночасно через різні канали. У випадку QPSK, ці два канали будуть відповідати двом бітам вхідного потоку даних.

Для перетворення на QPSK-подібне сузір'я на основі 8PSK, спочатку розбивається вхідний потік бітів на два підпотоки. Кожен підпотік кодується

з використанням QPSK. В результаті цього, кожен символ QPSK представляє 2 біти (інформація, закодована у фазових станах).

Отримані символи QPSK розділяються на два підканали. Один підканал буде використовуватися для квадратурного сигналу (I-канал), а інший - для сигналу зсуву фази (Q-канал).

У QPSK кожен символ представляє 2 біта. Таким чином, для створення QPSK-подібного сузір'я з двох підканалів, береться по одному символу з I-каналу і Q-каналу, і вони комбінуються для формування символу QPSK. Цей процес може включати фазові зсуви та амплітудні корекції для досягнення бажаних характеристик сигналу.

Отримані символи QPSK подаються на передавач, а приймач виконує зворотний процес демодуляції, розбираючи QPSK-сигнал на два підканали і використовуючи декодери для відновлення вхідного потоку бітів.

Таким чином, за допомогою модулятора 8PSK та ортогонального відображення двох підканалів на символи QPSK, можна забезпечити передачу більше інформації за один символ, що дозволяє підвищити пропускну здатність системи передачі даних.

Перетворення бітів у QPSK-подібне сузір'я на основі модулятора 8PSK показано в таблиці 3.2.

Відображення між бітами модуляції OSC та параметром l символу 8PSK

Модулюючі біти 8PSK $d_{3i}, d_{3i+1}, d_{3i+2}$	Відображення бітів для ортогональних субканалів на символи 8PSK OSC_0, OSC_1	Параметр символу l для правила $s_i = e^{j2\pi l/8}$
(1,1,1)	-	0
(0,1,1)	(1,1)	1
(0,1,0)	-	2
(0,0,0)	(0,1)	3
(0,0,1)	-	4
(1,0,1)	(0,0)	5
(1,0,0)	-	6
(1,1,0)	(1,0)	7

Результат перетворення бітів у QPSK-подібне сузір'я на основі модулятора 8PSK відображає сигнальне сузір'я на рисунку 3.4.

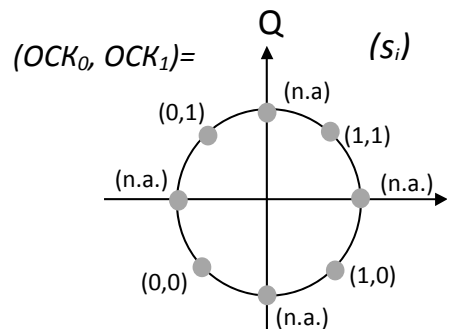


Рис. 3.4. Сигнальне сузір'я символів для 8PSK сигналу із мітками, які показують відповідні біти даних

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3

У цьому розділі було розглянуто одну з форм кутової модуляції - квадратурну фазову маніпуляцію (QPSK), структурні схеми модулятора та демодулятора QPSK. Проаналізована пропускна здатність і швидкість передачі даних.

Також розглянуто принцип формування ортогональних субканалів, концепція яких в низхідній лінії зв'язку базується на модуляції, подібної до QPSK, з метою передачі інформації мобільним станціям, які використовують однаковий частотний радіоресурс.

ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній роботі досліджувались стільникова система передачі абонентської інформації та процес передачі пакетних даних в радіоінтерфейсі між мобільною та базовою станціями в системі з метою вдосконалення часового ущільнення сигналів в радіоінтерфейсі.

Була розглянута, проаналізована та систематизована інформація щодо:

- принципу побудови стільникових систем на основі структур систем GSM, UMTS, LTE;
- переваг та особливостей структур систем GSM, UMTS, LTE;
- методів доступу в радіомережі по каналах радіозв'язку (методи FDMA, TDMA та CDMA);
- структури підсистеми передачі пакетних даних;
- протоколів, що забезпечують передачу даних у інтерфейсах Um, Gb, Gn;
- логічних канали GSM і GPRS;
- методів модуляції QPSK та 8PSK;
- принципів формування ортогональних субканалів.

Дослідження проводилось шляхом аналізу наукової літератури, наукових статей, моніторингу інтернет-ресурсів. Також в рамках дослідження використовувались порівняльний метод, структурний аналіз, аналіз та синтез сигналів.

За результатами проведеного аналітичного огляду було визначено метод модуляції 8PSK як основний для досягнення часового ущільнення сигналів.

8PSK – це метод модуляції, в якому використовуються 8 фазових станів. Це означає, що 8PSK може кодувати більше інформації за один символ порівняно з QPSK, що в підсумку призводить до підвищення пропускної здатності системи передачі даних.

Для перетворення на QPSK-подібне сузір'я на основі 8PSK, спочатку розбивається вхідний потік бітів на два підпотоки. Кожен підпотік кодується з використанням QPSK. В результаті цього, кожен символ QPSK представляє 2 біти (інформація, закодована у фазових станах).

Отримані в роботі результати дають змогу здійснювати раціональний вибір щодо використання методу модуляції QPSK для вдосконалення часового ущільнення сигналів в радіоінтерфейсі.

Для всього вищесказаного можна зробити висновок, що наведену в кваліфікаційній роботі інформацію можна використовувати для досягнення більш якісних характеристик системи зв'язку у визначеному частотному діапазоні та збільшення абонентської ємності системи зв'язку.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Alexander Kukushkin, Introduction to Mobile Network Engineering: GSM, 3G-WCDMA, LTE and the Road to 5G, PhD, Australia, 2018, – 416 с.
2. Krishnamurthy Raghunandan, Introduction to Wireless Communications and Networks, New York, USA, 2022, – 459 с.
3. Rajib Taid, Mobile Communications Systems Development, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Susses, UK, 2021, – 544 с.
4. Wayne Tomasi, Advanced Electronic Communications Systems: Pearson New International Edition, sixth edition, Phoenix, Arizona, 2014. – 620 с.
5. Sophia Antipolis Cedex, Digital cellular telecommunications system (Phase 2+) (GSM); Circuit switched voice capacity evolution for GSM/EDGE Radio Access Network (GERAN) (3GPP TR 45.914 version 17.0.0 Release 17), France, 2022. – 336 с.
6. Hamza Kheddar, FROM 2G TO 4G MOBILE NETWORK: ARCHITECTURE AND KEY PERFORMANCE INDICATORS, 2022. – 23 с.
7. С.О. Кравчук. Теорія систем мобільних інфокомунікацій. Системна архітектура: навчальний посібник. – К. : КПІ, 2023. – 682 с.
8. О. Ю. Лавриненко, О. В. Жарова, Д. І. Бахтіяров, О. Г. Голубничий, А. Г. Тараненко. Системи мобільного радіозв'язку: лабораторний практикум. – К. : НАУ, 2023. – 96с.
9. А. Г. Тараненко, Є. І. Габрусенко. Системи мобільного зв'язку: методичні рекомендації до виконання домашнього завдання. – К. : НАУ, 2020. – 32с.
10. Кравчук С.О., Голубничий О.Г., Тараненко А.Г., Потапов В.Г., Ткаліч О.П. Системи зв'язку з рухомими об'єктами. — К.: «Спринт-Сервіс», 2012. – 452 с.