



[RE-233] МОБІЛЬНІ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ СИСТЕМИ



dreamstime.com

© 1987-2015. All Rights Reserved.

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	Перший (бакалаврський)
Галузь знань	G - Інженерія, виробництво та будівництво
Спеціальність	G5 - Електроніка, електронні комунікації, приладобудування та радіотехніка
Освітня програма	Всі ОП
Статус дисципліни	Вибіркова (Ф-каталог)
Форма здобуття вищої освіти	Очна
Рік підготовки, семестр	Доступно для вибору починаючи з 3-го курсу, осінній семестр
Обсяг дисципліни	4 кред. (Лекц. 16 год, Практ. год, Лаб. 30 год, СРС. 74 год)
Семестровий контроль/контрольні заходи	Екзамен
Розклад занять	https://schedule.kpi.ua
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лекц.: Калюжний О. Я. , СРС.: Калюжний О. Я.
Розміщення курсу	https://oleksa-site.blogspot.com/p/mobile-telecom.html

Програма навчальної дисципліни

1. Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчення та результати навчання

Мета кредитного модуля: формування базових знань щодо принципів побудови та функціонування сучасних та перспективних систем мобільного зв'язку.

Завдання кредитного модуля.

Після засвоєння навчальної дисципліни мають продемонструвати такі результати навчання:

знання:

- фізичні особливості радіоканалів мобільного зв'язку;
- модуляційні формати передачі даних та методи багатостанційного доступу в мережах СМЗ;
- частотні діапазони, архітектура мереж, стеки протоколів другого, третього та четвертого поколінь СМЗ;
- технології завадостійкого кодування та організації передачі даних;
- технології приймання сигналів в каналах СМЗ із часовим та доплерівським розсіюванням.

уміння:

- вибирати параметри трактів передачі сигналів мереж СМЗ;
- проводити розрахунки параметрів ефективності мереж СМЗ для заданих умов приймання радіосигналів;
- володіти основами радіо планування мереж СМЗ.

досвід:

використання сучасних програмних засобів планування та моделювання мереж СМЗ сучасних поколінь.

2. Пререквізити та постреквізити дисципліни (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)

Кредитними модулями, які забезпечують вивчення СМЗ є: Методи теорії ймовірностей в радіотехніці (3/с), Сигнали та процеси в радіотехніці (4/с), Основи теорії телекомунікацій та радіотехніки (5,6/с). Дисципліна входить до завешального циклу професійної підготовки спеціалістів рівня бакалаврів.

3. Зміст навчальної дисципліни

Лекційний матеріал.

Тема 1. Предмет дисципліни.

Телекомунікаційні мережі, їх класифікація та загальна структура. Поняття про конвергенцію мереж. Еталона модель взаємодії відкритих систем ISO/OSI. Загальна структура систем мобільного зв'язку та їх класифікація. Стільниковий принцип організації мобільного зв'язку та частотного плану. Огляд змісту дисципліни.

Тема 2. Канали мобільного зв'язку.

Головні фізичні особливості середовища передачі, що впливають на характеристики сигналу: діапазон частот, багатопроменеве поширення, часове та доплерівське розсіювання. Шуми та завади в каналах СРЗ. Прогнозування рівнів радіосигналів мобільного зв'язку за методами Окамура-Хата та COST231. Прогнозування за методом трасування радіо променів, врахування

дифракційних ефектів.

Завмирання сигналів (фединг). Часове розсіювання та доплерівське розширення спектру сигналів у багатопроменевому радіоканалі мобільного зв'язку. Поняття про смугу та інтервал когерентності радіоканалу.

Масштаби завмирань. Статистичний опис великомасштабних та дрібномасштабних завмирань. Поняття про райсівський та релеєвський радіоканали. Типи дрібномасштабних завмирань (гладкі та частотно-селективні, швидкі та повільні). Модель WSSUS. Моделювання дрібномасштабних завмирань в радіоканалах за стандартом GSM 05.05.

Тема 3. Кодування мовних сигналів.

Фізичні особливості мовних сигналів. Модель голосового тракту людини. Мовні кодеки та їхня класифікація. Кодування мовних сигналів за методом ІКМ (PCM). Кодування сигналів за методом лінійного передбачення (ЛП). Кодери та декодери ДІКМ (DPCM). Кодування мовних сигналів з короткотерміновим та довгостроковим передбачення (LPC та LTP-кодеки). Векторне квантування та технології CELP. Статистичне ущільнення сигналів (технологія DTX).

Тема 4. Цифрова модуляція сигналів та багатостанційний доступ.

Загальні принципи цифрової модуляції. Міжсимвольна інтерференція (MCI). Фільтри піднятого косинусу. Характеристики методів модуляції: коефіцієнт помилок та спектральна ефективність. Фільтри Найквіста та око-діаграми. Цифрова модуляція без пам'яті. Цифрова модуляція з пам'яттю (CPFSK, MSK, GMSK, відносна (різницева) модуляція, офсетна модуляція).

Критерії вибору модуляційних форматів в СРЗ. Внутрішньо системні завади. Методи підвищення спектральної ефективності. Модуляційні формати передачі в СМЗ другого, третього та четвертого поколінь.

Основні методи багато станційного доступу: FDMA, TDMA, CDMA. Дуплексна передача FDD та TDD. Комбіновані методи багато станційного доступу Протоколи випадкового (довільного) доступу.

Широкосмугова модуляція (ШСМ). Частотний хоппінг (FH-SS) та пряме розширення спектру (DS-SS). Порівнювальний аналіз методів БСД.

Багаточастотна модуляція та її переваги. Мультиплексування з ортогональним частотним поділом каналів (OFDM). Циклічний префікс та алгоритм «заповнення водою».

Тема 5. Завадостійке кодування в каналах мобільного зв'язку.

Теорема про кодування в каналі та границі Шеннона. Завадостійкі коди та їхня класифікація. Принципи блочного кодування та границі Хеммінга. Лінійні коди, їхня породжувальна та перевірна матриці. Циклічні коди, породжувальний та перевірочний поліноми циклічного коду. Генерація систематичного циклічного коду, виявлення та виправлення помилок. Кодери та декодери циклічного коду. Коди БЧХ та Ріда-Соломона.

Загальна структура згорткових кодерів та методи їхнього опису: діаграма станів, деревоподібна та треліс-діаграми. Виправлення помилок при згортковому кодуванні. Декодери Вітербі з "жорсткими" та "м'якими" рішеннями. Перемежування (interleaving) символів як метод боротьби з пакетними помилками. Турбо кодування та LDPC-кодування.

Тема 6. Приймання сигналів у каналах мобільного зв'язку.

Загальна постановка задачі приймання сигналів зв'язку. Оптимальне приймання сигналів за критеріями максимуму апостеріорної ймовірності та максимальної правдоподібності.

Когерентне приймання сигналів у каналі з АБГШ. Приймання повідомлення «у цілому» та поелементний прийом. Оптимальне когерентне приймання сигналів PSK та QAM. Загальна схема приймання сигналів PSK та QAM.

Особливості приймання радіосигналів мобільного зв'язку. Адаптивне керування потужністю з відкритою та замкненою петлею. Вирівнювання каналу мобільного зв'язку. Адаптивні лінійні еквалайзери. «Сліпе» вирівнювання каналу. Еквалайзери зі зворотнім зв'язком за рішеннями (еквалайзери DFE) та еквалайзер Вітербі.

Тема 7. Рознесене приймання сигналів у каналах мобільного зв'язку.

Загальні принципи рознесеного приймання. Рознесене приймання сигналів в каналах із розсіюванням. Багатопроменеве RAKE-приймання та його застосування в мережах СМЗ третього покоління.

Багатоантенні системи передавання та приймання сигналів (MIMO-системи), їх класифікація. Матриця каналу передачі та її оцінювання. Залежність ефективності MIMO-систем від кількості антен.

Просторово-часове блочне та згорткове кодування. Алгоритм Аламоуті та його переваги. Просторове мультиплексування, області застосування та його переваги. Застосування MIMO-технологій у СМЗ третього та четвертого поколінь.

Тема 8. Архітектура та системні аспекти стільникової телефонії GSM.

Основи архітектури GSM. Сота, зона, регіон обслуговування. Підсистеми MSC, HLR і VLR та які їхні функції. Регістри AUC і EIR, модуль SIM. Ідентифікатори IMEI, IMSI, TMSI.

Параметри радіопередачі GSM: діапазони частот, швидкість передачі, параметри часових слотів. Часова структура: фрейм, мультифрейм, суперфрейм, гіперфрейм.

Структура мультифреймів в downlink та uplink. Структура пакетів. Основні види логічних каналів та їх відображення на фізичному рівні. Процедури з'єднання: початкова реєстрація та активація MS після включення, процедури виклику. Естафетна передача з'єднання (хендовер) та її різновиди. Конфіденційність та перевірка автентичності користувача. Шифрування інформації користувачів.

Тема 9. Стандарт стільникової телефонії IS-95 та мережі 2G+.

Технологія DS-SS та її можливості. Псевдовипадкові послідовності (ПВП) та їх властивості. Послідовність регістру зсуву максимальної довжини, послідовності Голда і Касамі.

Розширення спектру сигналів в стандарті IS-95 для прямого та зворотного каналу. Синхронна та асинхронна CDMA. Архітектури прямого та зворотного каналів. Фізичні канали та їх структура. Відображення логічних каналів на фізичний рівень. Еволюція стандартів 2G. Технології HSCSD, GPRS, EDGE.

Тема 10. Загальна концепція та організація мереж 3G.

Протоколи IMT-2000 та їхні основні характеристики. Труднощі на шляху практичного втілення концепції IMT-2000. Базові вимоги до систем 3G та їхні принципи відмінності від систем 2G, 2,5G.

Архітектура мережі радіо доступу UMTS, її головні вузли та їх призначення. Стек протоколів UMTS, рівні, підрівні протоколів та їх призначення. Площини управління та користувачів у стеку протоколів UMTS.

Основні характеристики радіоінтерфейсу UTRAN: смуги, швидкості передачі, чипова швидкість, тривалості фреймів, часових слотів, тощо.

Логічні, транспортні та фізичні канали мережі 3G. Їх призначення та категорії. Канали "dedicated" і "common" та їхнє використання.

Генерація фізичних каналів uplink та downlink. Розширюючи та скремблюючи псевдовипадкові послідовності, метод модуляції. Часова структура каналів.

Особливості естафетної передачі в мережах 3G. Особливості та відмінності стандарту cdma2000 від стандарту UMTS.

Тема 11. Загальна концепція та організація мереж 4G.

Еволюція стандартів 3G. Концепція IMT Advanced та її головні риси.

Архітектура мережі LTE та її головні вузли. Стеки протоколів стандарту LTE, їх склад та основні функції.

Побудова мережевих інтерфейсів стандарту LTE. Їх склад та основні функції. Логічні, транспортні та фізичні канали стандарту LTE. Їх склад та основні функції. Відображення логічних каналів на транспортний рівень та відображення транспортних каналів на фізичний рівень.

Частотний план мереж LTE. Технології OFDM та SC-FDMA. Часова структура сигналів LTE та їх частотно-часова організація. Розміщення фізичних каналів. Передача даних uplink та downlink. Технології MIMO в мережах LTE. Гетерогенні мережі. Стандарт LTE Advanced та його головні особливості.

Тема 12. Концепція перспективних мереж мобільного доступу 5G.

Концепція та програма робіт зі створення мереж 5G. Базові вимоги та головні завдання проекту IMT2020. Частотний ресурс, архітектура та радіо інтерфейс мереж IMT 2020. Методи багаточастотної модуляції з не ортогональною розстановкою каналів: N-OFDM, FBMC, F-OFDM, UFMC, GFDM, BFDM, тощо. Технології широкомасштабної (massive) MIMO та організація зон обслуговування.

Тематика практичних занять:

1. Моделювання передачі сигналів у СМЗ засобами обчислювального середовища Matlab-Simulink. Розгляд прикладів моделювання.
2. Семінарське заняття за темою «Канали мобільного зв'язку». Вирішення задач на визначення характеристик радіоканалів із замираннями.
3. Моделювання радіоканалів з часовим розсіюванням та доплерівським розширенням спектру в середовищі Matlab-Simulink. Аналіз ефективності передачі сигналів в середовищі Matlab-Simulink засобами програмного додатку BERTool. Розгляд прикладів моделювання.
4. Семінарське заняття за темами «Кодування мовних сигналів» та «Багатостанційний доступ». Розгляд програмних імітаторів мовних кодеків у середовищі Matlab.
5. Контрольна робота за темами 1 - 8.
6. Семінарське заняття за темою «Архітектура та системні аспекти СМЗ другого покоління».
7. Семінарське заняття за темою «Архітектура та організація СМЗ третього покоління».
8. Семінарське заняття за темою «Архітектура та організація СМЗ четвертого покоління».

Перелік лабораторних робіт:

Метою лабораторних занять є експериментальна перевірка теоретичних знань та набуття практичних навичок у вирішенні завдань радіо планування мереж СМЗ.

Лабораторні заняття проводяться у вигляді комп'ютерного практикуму. Кожен студент має

своє робоче місце (персональний комп'ютер). Завдання на лабораторні роботи студенти отримують заздалегідь. Перед початком заняття проводиться опитування для того, щоб оцінити готовність студента до проведення роботи. Після виконання роботи відбувається її захист та обговорення отриманих результатів. Оформляється звіт по лабораторній роботі.

Тематика занять:

1. BTS site manager
2. Налаштування параметрів передачі
3. Веб інтерфейс Intracom
4. Оптимізація розстановки базових станцій стандартів UMTS та LTE у програмному середовищі Атол.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова література:

1. Весоловский К. Системы подвижной радиосвязи. М., Горячая линия – Телеком, 2006.
2. Голдсмит А. Беспроводные коммуникации. Москва: Техносфера, 2011. – 904 с.
3. Гепко И.А. и др. Под ред. проф. Олейника В.Ф. Современные беспроводные сети: Состояние и перспективы. Киев, «ЕКМО», 2009.
4. Степутин А.Н., Николаев А.Д. Мобильная связь на пути к 6G. В 2 томах. Том 1. - 3-е изд. - М., Инфра-Инженерия, 2021. - 384 с.
5. Степутин А.Н., Николаев А.Д. Мобильная связь на пути к 6G. В 2 томах. Том 2. - 3-е изд. - М., Инфра-Инженерия, 2021. - 420 с.
6. Бабков В.Ю. и др. Сети мобильной связи. Частотно-территориальное планирование. Учебное пособие для вузов. - 2-е изд., испр. - М.: Горячая линия - Телеком, 2007. - 224 с.

Додаткова література:

1. Рихтер С. Г. Кодирование и передача речи в цифровых системах подвижной радиосвязи. Учебное пособие для вузов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2011. – 304 с.
2. Yong Soo Cho & others. MIMO-OFDM WIRELESS COMMUNICATIONS WITH MATLAB. John Wiley & Sons (Asia). 2010.
3. Andreas F. Molisch. WIRELESS COMMUNICATIONS. John Wiley & Sons Ltd., 2011.
4. Sauter M. From GSM to LTE-Advanced Pro and 5G. An Introduction to Mobile Networks and Mobile Broadband. Third Edition, 2017 John Wiley & Sons Ltd. - 2017. - 530 p.
5. Ajay R. Mishra. Fundamentals of Network Planning and Optimisation 2G/3G/4G: Evolution to 5G. John Wiley & Sons Ltd. 2018. - 427 p.

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Студенти на початку вивчення дисципліни отримують доступ до електронних ресурсів на сайті викладача, де розміщені матеріали лекцій, практичних та лабораторних занять. По кожному заняттю студенту отримують домашнє завдання на закріплення теоретичних знань та практичних навичок. Виконання завдань перевіряється викладачем на початку кожного чергового заняття. Повнота та якість виконання є однією з головних складових поточного рейтингу студента у семестрі. На протязі семестру проводиться 2 письмові контрольні роботи.

Детальний план лекційного матеріалу:

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань
1	Тема 1. Предмет дисципліни. [1], [2], [3], [6] Телекомунікаційні мережі, їх класифікація та загальна структура. Поняття про конвергенцію мереж. Еталона модель взаємодії відкритих систем ISO/OSI. Загальна структура систем мобільного зв'язку та їх класифікація. Стільниковий принцип організації мобільного зв'язку та частотного плану. Огляд змісту дисципліни. Завдання на СРС: Підготовка у письмовому вигляді відповідей на контрольні запитання за матеріалами теми.
2	Тема 2. Канали мобільного зв'язку. [1], [2], [3], [10], [11] Головні фізичні особливості середовища передачі, що впливають на характеристики сигналу: діапазон частот, багатопроменеве поширення, часове та доплерівське розсіювання. Шуми та завади в каналах СРЗ. Прогнозування рівнів радіосигналів мобільного зв'язку за методами Окамура-Хата та COST 231. Прогнозування за методом трасування радіо променів, врахування дифракційних ефектів.
3	Тема 2. Канали мобільного зв'язку (продовження). Завмирання сигналів (фединг). Часове розсіювання та доплерівське розширення спектру сигналів у багатопроменовому радіоканалі мобільного зв'язку. Поняття про смугу та інтервал когерентності радіоканалу. Масштаби завмирань. Статистичний опис великомасштабних та дрібномасштабних завмирань. Поняття про райсівський та релеєвський радіоканали. Типи дрібномасштабних завмирань (гладкі та частотно-селективні, швидкі та повільні). Модель WSSUS. Моделювання дрібномасштабних завмирань в радіоканалах за стандартом GSM 05.05. Завдання на СРС: Підготовка у письмовому вигляді відповідей на контрольні запитання за матеріалами теми та вирішення задач. Проведення моделювання радіоканалів мобільного зв'язку у програмному середовищі Matlab-Simulink.
4	Тема 3. Кодування мовних сигналів. [3], [4] Фізичні особливості мовних сигналів. Модель голосового тракту людини. Мовні кодеки та їхня класифікація. Кодування мовних сигналів за методом ІКМ (PCM). Кодування сигналів за методом лінійного передбачення (ЛП). Кодери та декодери ДІКМ (DPCM). Кодування мовних сигналів з короткотерміновим та довгостроковим передбачення (LPC та LTP-кодеки). Векторне квантування та технології CELP. Статистичне ущільнення сигналів (технологія DTX). Завдання на СРС: Підготовка у письмовому вигляді відповідей на контрольні запитання за матеріалами теми. Проведення моделювання процедур кодування мовних сигналів у програмному середовищі Matlab-Simulink.
5	Тема 4. Цифрова модуляція сигналів та багатостанційний доступ. [1], [2], [3], [6], [11] Загальні принципи цифрової модуляції. Міжсимвольна інтерференція (MCI). Фільтри піднятого косинусу. Характеристики методів модуляції: коефіцієнт помилок та спектральна ефективність. Фільтри Найквіста та око-діаграми. Цифрова модуляція без пам'яті. Цифрова модуляція з пам'яттю (CPFSK, MSK, GMSK, відносна (різницева) модуляція, офсетна модуляція). Критерії вибору модуляційних форматів в СРЗ. Внутрішньо системні завади. Методи підвищення спектральної ефективності. Модуляційні формати передачі в СМЗ другого, третього та четвертого покоління.

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань
6	Тема 4. Цифрова модуляція сигналів та багатостанційний доступ (продовження). Основні методи багато станційного доступу: FDMA, TDMA, CDMA. Дуплексна передача FDD та TDD. Комбіновані методи багато станційного доступу Протоколи випадкового (довільного) доступу. Широкопasmовова модуляція (ШСМ). Частотний хоппінг (FH-SS) та пряме розширення спектру (DS-SS). Порівнювальний аналіз методів БСД. Багаточастотна модуляція та її переваги. Мультиплексування з ортогональним частотним поділом каналів (OFDM). Циклічний префікс та алгоритм «заповнення водою». Завдання на СРС: Підготовка у письмовому вигляді відповідей на контрольні запитання за матеріалами теми та вирішення задач. Проведення моделювання процедур цифрової модуляції/демодуляції та багато станційного доступу у програмному середовищі Matlab-Simulink.
7	Тема 5. Завадостійке кодування в каналах мобільного зв'язку. [1], [2], [3], [6], [11] Теорема про кодування в каналі та границі Шеннона. Завадостійкі коди та їхня класифікація. Принципи блочного кодування та границі Хеммінга. Лінійні коди, їхня породжувальна та перевірюча матриці. Циклічні коди, породжувальний та перевірючий поліноми циклічного коду. Генерація систематичного циклічного коду, виявлення та виправлення помилок. Кодери та декодери циклічного коду. Коди BCH та Ріда-Соломона.
8	Тема 5. Завадостійке кодування в каналах мобільного зв'язку. (продовження). Загальна структура згорткових кодерів та методи їхнього опису: діаграма станів, деревоподібна та треліс-діаграми. Виправлення помилок при згортковому кодуванні. Декодери Вітербі з “жорсткими” та “м'якими” рішеннями. Перемежування (interleaving) символів як метод боротьби з пакетними помилками. Турбо кодування та LDPC-кодування. Завдання на СРС: Підготовка у письмовому вигляді відповідей на контрольні запитання за матеріалами теми та вирішення задач. Проведення моделювання процедур завадостійкого кодування/декодування у програмному середовищі Matlab-Simulink.
9	Тема 6. Приймання сигналів у каналах мобільного зв'язку. [2], [3], [4], [11] Загальна постановка задачі приймання сигналів зв'язку. Оптимальне приймання сигналів за критеріями максимуму апостеріорної ймовірності та максимальної правдоподібності. Когерентне приймання сигналів у каналі з АБГШ. Приймання повідомлення «у цілому» та поелементний прийом. Оптимальне когерентне приймання сигналів PSK та QAM. Загальна схема приймання сигналів PSK та QAM. Особливості приймання радіосигналів мобільного зв'язку. Адаптивне керування потужністю з відкритою та замкненою петлею. Вирівнювання каналу мобільного зв'язку. Адаптивні лінійні еквалайзери. «Сліпе» вирівнювання каналу. Еквалайзери зі зворотнім зв'язком за рішеннями (еквалайзери DFE) та еквалайзер Вітербі. Завдання на СРС: Підготовка у письмовому вигляді відповідей на контрольні запитання за матеріалами теми та вирішення задач. Проведення моделювання процедур приймання сигналів у програмному середовищі Matlab-Simulink.
10	Тема 7. Рознесене приймання сигналів у каналах мобільного зв'язку [2], [3], [10], [11] Загальні принципи рознесеного приймання. Рознесене приймання сигналів в каналах із розсіюванням. Багатопроменеве RAKE-приймання та його застосування в мережах СМЗ третього покоління. Багатоантенні системи передавання та приймання сигналів (MIMO-системи), їх класифікація. Матриця каналу передачі та її оцінювання. Залежність ефективності MIMO-систем від кількості антен.

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань
11	Тема 7. Рознесенне приймання сигналів у каналах мобільного зв'язку (продовження) Просторово-часове блочне та згорткове кодування. Алгоритм Аламоуті та його переваги. Просторове мультиплексування, області застосування та його переваги. Застосування MIMO-технологій у SM3 третього та четвертого поколінь. Завдання на СРС: Підготовка у письмовому вигляді відповідей на контрольні запитання за матеріалами теми та вирішення задач. Проведення моделювання процедур рознесення приймання у програмному середовищі Matlab-Simulink.
12	Тема 8. Архітектура та системні аспекти стільникової телефонії GSM. [2], [3], [5]. Основи архітектури GSM. Cota, зона, регіон обслуговування. Підсистеми MSC, HLR і VLR та які їхні функції. Регістри AUC і EIR, модуль SIM. Ідентифікатори IMEI, IMSI, TMSI. Параметри радіопередачі GSM: діапазони частот, швидкість передачі, параметри часових слотів. Часова структура: фрейм, мультифрейм, суперфрейм, гіперфрейм. Структура мультифреймів в downlink та uplink. Структура пакетів. Основні види логічних каналів та їх відображення на фізичному рівні. Процедури з'єднання: початкова реєстрація та активація MS після включення, процедури виклику. Естафетна передача з'єднання (хендовер) та її різновиди. Конфіденційність та перевірка автентичності користувача. Шифрування інформації користувачів. Завдання на СРС: Підготовка у письмовому вигляді відповідей на контрольні запитання за матеріалами теми та вирішення задач.
13	Тема 9. Стандарт стільникової телефонії IS-95 та мережі 2G+. [2], [3], [6]. Технологія DS-SS та її можливості. Псевдовипадкові послідовності (ПВП) та їх властивості. Послідовність регістру зсуву максимальної довжини, послідовності Голда і Касамі. Розширення спектру сигналів в стандарті IS-95 для прямого та зворотного каналу. Синхронна та асинхронна CDMA. Архітектури прямого та зворотного каналів. Фізичні канали та їх структура. Відображення логічних каналів на фізичний рівень. Еволюція стандартів 2G. Технології HSCSD, GPRS, EDGE. Завдання на СРС: Підготовка у письмовому вигляді відповідей на контрольні запитання за матеріалами теми та вирішення задач.
14	Тема 10. Загальна концепція та організація мереж 3G. [2], [3], [6], [7]. Протоколи IMT-2000 та їхні основні характеристики. Труднощі на шляху практичного втілення концепції IMT-2000. Базові вимоги до систем 3G та їхні принципові відмінності від систем 2G, 2.5G. Архітектура мережі радіо доступу UMTS, її головні вузли та їх призначення. Стек протоколів UMTS, рівні, підрівні протоколів та їх призначення. Площини управління та користувачів у стеку протоколів UMTS. Основні характеристики радіоінтерфейсу UTRAN: смуги, швидкості передачі, чипова швидкість, тривалості фреймів, часових слотів, тощо.
15	Тема 10. Загальна концепція та організація мереж 3G (продовження). Логічні, транспортні та фізичні канали мережі 3G. Їх призначення та категорії. Канали "dedicated" і "common" та їхнє використання. Генерація фізичних каналів uplink та downlink. Розширюючі та скремблюючі псевдовипадкові послідовності, метод модуляції. Часова структура каналів. Особливості естафетної передачі в мережах 3G. Особливості та відмінності стандарту cdma2000 від стандарту UMTS. Завдання на СРС: Підготовка у письмовому вигляді відповідей на контрольні запитання за матеріалами теми та вирішення задач.

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань
16	Тема 11. Загальна концепція та організація мереж 4G. [2], [8], [10], [11]. Еволюція стандартів 3G. Концепція IMT Advanced та її головні риси. Архітектура мережі LTE та її головні вузли. Стеки протоколів стандарту LTE, їх склад та основні функції. Побудова мережевих інтерфейсів стандарту LTE. Їх склад та основні функції. Логічні, транспортні та фізичні канали стандарту LTE. Їх склад та основні функції. Відображення логічних каналів на транспортний рівень та відображення транспортних каналів на фізичний рівень.
17	Тема 11. Загальна концепція та організація мереж 4G (продовження). Частотний план мереж LTE. Технології OFDM та SC-FDMA. Часова структура сигналів LTE та їх частотно-часова організація. Розміщення фізичних каналів. Передача даних uplink та downlink. Технології MIMO в мережах LTE. Стандарт LTE Advanced та його головні особливості. Гетерогенні мережі. Завдання на СРС: Підготовка у письмовому вигляді відповідей на контрольні запитання за матеріалами теми та вирішення задач.
18	Тема 12. Концепція перспективних мереж мобільного доступу 5G. [12]. Концепція та програма робіт зі створення мереж 5G. Базові вимоги та головні завдання проекту IMT2020. Частотний ресурс, архітектура та радіо інтерфейс мереж IMT 2020. Методи багаточастотної модуляції з не ортогональною розстановкою каналів: N-OFDM, FBMC, F-OFDM, UFMC, GFDM, BFDM, тощо. Технології massive MIMO та організація зон обслуговування. Завдання на СРС: Підготовка у письмовому вигляді відповідей на контрольні запитання за матеріалами теми та вирішення задач.

Лабораторні заняття

Основне завдання циклу лабораторних занять – це формування у студентів відповідних умінь та досвіду. Лабораторні заняття проводяться за методиками посібника [9].

№ з/п	Назва теми заняття та перелік основних питань	Кількість ауд. годин
1	Практичне ознайомлення з програмними засобами частотно-територіального планування СМЗ, а також методів їх взаємодії з геоінформаційними системами (ГІС).	2
2	Вибір характеристик антен та параметрів базових станцій СМЗ стандартів UMTS та LTE у програмному середовищі Атол.	2
3	Прогнозування радіопокриття базових станцій стандартів UMTS та LTE у програмному середовищі Атол.	2

Практичні та семінарські заняття.

Заняття проводяться для кращого засвоєння та поглибленого вивчення лекційного матеріалу. Теми практичних занять доводяться до студентів заздалегідь.

Кожен студент може отримувати індивідуальне завдання для самостійного розв'язку по темі практичного заняття для оцінки якості засвоєння матеріалу. Матеріали практичних та семінарських занять базуються на джерелах, що вказані у списку рекомендованої літератури.

№ з/п	Назва теми заняття та перелік основних питань
-------	---

1	Моделювання передачі сигналів у СМЗ засобами обчислювального середовища Matlab-Simulink. Розгляд прикладів моделювання блоків радіоканалів, передавачів, приймачів, модуляції/демодуляції, кодування/декодування. Аналіз ефективності передачі сигналів в середовищі Matlab-Simulink з використанням програмного додатку BERTool. Розгляд прикладів моделювання.
2	Семінарське заняття за темою «Блочне та згорткове завадостійке кодування в радіоканалах мобільного зв'язку». Розгляд програмних моделей систем передачі сигналів зі завадостійким кодуванням у середовищі Matlab-Simulink.

6. Самостійна робота студента

Самостійна робота полягає у регулярному виконанні поточних домашніх завдань

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Рейтинг студента з дисципліни складається з балів, що він отримує за:

1. Відвідування лекцій та ведення конспекту.
2. Відвідування та самостійна робота на практичних заняттях.
3. Виконання курсової або розрахункової роботи.
4. Виконання та захист лабораторних робіт.
5. Виконання модульної контрольної роботи.
6. Складання екзамену.

Рейтингова шкала з дисципліни СМЗ складає 100 балів

8. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою

Кількість балів	Оцінка
100-95	Відмінно
94-85	Дуже добре
84-75	Добре
74-65	Задовільно
64-60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Не виконані умови допуску	Не допущено

9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

...

Опис матеріально-технічного та інформаційного забезпечення дисципліни

Базова станція в ауд. 503-17 корп.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено [Калюжний О. Я.](#);

Ухвалено кафедрою РІ (протокол № 06/2025 від 24.06.2025)

Погоджено методичною комісією факультету/ННІ (протокол № 06/2025 від 25.06.2025)