



# [RE-66] СИСТЕМИ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ НОВИХ ПОКОЛІНЬ



## Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

### Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	Другий (магістерський)
Галузь знань	17 - Електроніка, автоматизація та електронні комунікації
Спеціальність	172 - Електронні комунікації та радіотехніка
Освітня програма	Всі ОП
Статус дисципліни	Вибіркова (Ф-каталог)
Форма здобуття вищої освіти	Очна
Рік підготовки, семестр	Доступно для вибору починаючи з 1-го курсу, весняний семестр
Обсяг дисципліни	4 кред. (Лекц. 18 год, Практ. год, Лаб. 36 год, СРС. 56 год )
Семестровий контроль/контрольні заходи	Екзамен
Розклад занять	<a href="https://rozklad.kpi.ua">https://rozklad.kpi.ua</a>
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лекц.: <a href="#">Калюжний О. Я.</a> , Лаб.: <a href="#">Калюжний О. Я.</a> , СРС.: <a href="#">Калюжний О. Я.</a>
Розміщення курсу	<a href="https://oleksa-site.blogspot.com/p/blog-page.html">https://oleksa-site.blogspot.com/p/blog-page.html</a>

### Програма навчальної дисципліни

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

Метою навчальної дисципліни є формування базових знань щодо принципів побудови та функціонування сучасних та перспективних систем мобільного зв'язку. Згідно з вимогами освітньо-професійної програми студенти після засвоєння навчальної дисципліни мають продемонструвати такі результати навчання:

#### знання:

- фізичні основи передачі радіо сигналів 5G;
- методи частотно-територіального планування 5G;
- технології багато частотного мультиплексування OFDM та F-OFDM;
- сучасні методи завадостійкого кодування в мережах 5G;
- теоретичні основи багатоантенних систем MIMO та Massive MIMO;
- стандарти та протоколи мереж мобільного зв'язку 4G та 5G;
- основи проектування сучасних мереж мобільного зв'язку.

#### **уміння:**

- вибирати параметри трактів передачі сигналів мереж 5G;
- проводити розрахунки параметрів ефективності мереж 5G для заданих умов приймання радіосигналів;
- володіти основами практичного радіо планування мереж 5G.

**досвід:** використання сучасних програмних засобів планування та моделювання мереж 5G нових поколінь.

Дисципліна забезпечує виконання дипломного проектування для магістрів як професійного так й наукового напрямків.

Знання та вміння, набуті в результаті вивчення дисципліни, забезпечують можливість працювати в організаціях та компаніях, що займаються організацією, проектуванням та експлуатацією наземного мобільного зв'язку.

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

Кредитними модулями, які забезпечують вивчення 5G є: Методи теорії ймовірностей в радіотехніці (3/с), Сигнали та процеси в радіотехніці (4/с), Основи теорії телекомунікацій та радіотехніки (5,6/с), Мобільні телекомунікаційні системи (7с).

## **3. Зміст навчальної дисципліни**

### **Теми лекційних занять.**

Тема 1. Історія розвитку 5G.

*Порівнювальна характеристика генерацій мобільного зв'язку від 1G до 5G. Специфікації 3GPP та робота із ними.*

Тема 2. Принципи функціонування мереж 5G стандарту LTE.

*Архітектура мереж стандарту LTE та суміщених мереж 2G/3G/4G. Режими роботи абонентських терміналів в E-UTRAN. Нумерація та ідентифікація в мережах LTE. Побудова та функціонування радіоінтерфейсу мереж стандарту LTE. Застосування MIMO-технологій.*

Тема 3. Технологія LTE-Advanced (LTE-A).

*Загальна інформація про технологію LTE-A. Агрегація частотного спектру. Удосконалена лінія передачі "вгору". Передача з ретрансляцією. Подвійне та пряме з'єднання. Іноваційні технології в LTE-Advanced Pro.*

Тема 4. Приймальне та передавальне обладнання LTE.

*Структура передавальних та приймальних пристроїв стандарту LTE. Архітектура абонентських терміналів та їх категорії. Структура пристроїв при роботі у режимі агрегованого спектру частот. Еволюція абонентських терміналів.*

Тема 5. Гетерогенні мережі (HetNet).

*Проблема розвантаження мереж мобільного зв'язку та шляхи її вирішення. Технології Wi-Fi Offloading. Використання неліцензійних частот у мережах LTE. Технології малих сот. Розподілені антенні системи.*

Тема 6. Планування мереж 5G стандарту LTE.

*Особливості планування мереж стандарту LTE та вибір їх параметрів. Частотне планування мереж LTE. Оцінка середньої пропускної здатності та ємності мережі. Методи оптимізації мережі. Концепція мереж, що самоорганізуються. Порівнювальний аналіз планування мереж мобільного зв'язку різних поколінь. Планування та підтримка безперервної роботи обладнання операторів мобільного зв'язку.*

Тема 7. Транспортні мережі в архітектурі систем мобільного зв'язку.

*Місце транспортних мереж у загальній структурі 5G. Вимоги до транспортних мереж та основні технології. Класифікація ліній зв'язку. Оптичні транспортні мережі. Перехід до мереж NGN. Проектування транспортних мереж.*

Тема 8. Якість обслуговування в мережах LTE.

*Принципи керування та критерії якості обслуговування в мережах LTE. Процедура організації та зміни параметрів якості наскрізних каналів. Якість обслуговування у гетерогенних мережах.*

Тема 9. Безпека в мережах LTE.

*Принципи безпеки зв'язку у мережах LTE. Принципи функціонування систем забезпечення правоохоронної діяльності.*

Тема 10. Основні напрямки розвитку 5G.

*Віртуалізація мережевої інфраструктури. Спільне використання мережевої інфраструктури кількома операторами. Застосування технологій Big Data. Інтернет речей. Когнітивні системи. Організація професійного мобільного зв'язку на основі мереж LTE.*

Тема 11. Технології п'ятого покоління мобільного зв'язку.

*Передумови появи та стандартизація мереж 5G. Еволюція мереж мобільного зв'язку до технологій 5G. Частотні аспекти реалізації мереж 5G. Основні вимоги та послуги мереж 5G. Ключові рішення та технологічні компоненти мереж 5G. Використання технологій Massive MIMO. Опорна мережа 5G. Якість обслуговування у 5G. Особливості абоненських терміналів.*

Тема 12. На шляху до мереж мобільного зв'язку 6G.

*Передумови появи 6G. Перспективні технології, поява яких очікується у мережах 6G. Проблеми впровадження мереж 6G. Потенційні технологічні рішення для мереж 6G.*

### **Теми практичних занять.**

Пр.1. Частотно-територіальне планування 5G нових поколінь.

*Алгоритми та методики частотно-територіального планування. Вихідні моделі, що застосовуються для радіопланування. Особливості планування мереж мобільного зв'язку різних поколінь. Основні програмні засоби радіопланування. Програмне середовище Атол.*

Пр.2. Моделювання каналів мобільного зв'язку в середовищі Матлаб.

Моделі каналів мобільного зв'язку відповідно до матеріалів групи 3GPP. Засоби моделювання каналів мобільного зв'язку у середовищі Матлаб.

Пр.3. Моделювання MIMO систем.

Моделі MIMO систем відповідно до матеріалів групи 3GPP. Засоби моделювання MIMO систем у середовищі Матлаб.

Пр.4. Сертифіковані моделі фізичних каналів, що відповідають стандартам LTE та 5G NR, у середовищі Матлаб.

Ознайомлення із сертифікованими групою 3GPP методиками моделювання радіоканалів мобільного зв'язку у середовищі Матлаб. Перевірка на відповідність стандартам.

### Теми лабораторних занять.

Лаб.1. BTS site manager

Лаб.2. Налаштування системи мереж мобільного зв'язку у базовій станції

Лаб.3. Налаштування радіорелейної лінії через веб інтерфейс Intracom

Лаб.4. Ознайомлення з базовою станцією стандарту LTE.

## 4. Навчальні матеріали та ресурси

### Базова література:

1. Yong Soo Cho & others. MIMO-OFDM WIRELESS COMMUNICATIONS WITH MATLAB. John Wiley & Sons (Asia). 2010.
2. Andreas F. Molisch. WIRELESS COMMUNICATIONS. John Wiley & Sons Ltd., 2011.
3. 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.
4. 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)

#### Лекційні заняття

№ лекції	Тема лекції та перелік основних питань (дидактичні засоби, посилання на літературу, завдання на СРС.
1.	Тема 1. Історія розвитку СМЗ. <ul style="list-style-type: none"><li>• Що таке покоління (генерації) мобільного зв'язку.</li><li>• Порівнювальна характеристика генерацій мобільного зв'язку від 1G до 5G.</li><li>• Специфікації 3GPP та робота із ними.</li></ul> Література: <ul style="list-style-type: none"><li>• [2], глава 1.</li><li>• [4], глава 1.</li></ul> СРС: Підготовка конспекту з виконання домашніх завдань
2.	Тема 2. Принципи функціонування мереж СМЗ стандарту LTE. <ul style="list-style-type: none"><li>• Архітектура мереж стандарту LTE.</li><li>• Архітектура суміщених мереж 2G/3G/4G.</li><li>• Режими роботи абонентських терміналів в E-UTRAN.</li></ul> Література: <ul style="list-style-type: none"><li>• [4], глава 2, стор.36 - 80.</li></ul> СРС: Підготовка конспекту з виконання домашніх завдань

3.	<p>Тема 2 (продовження).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Нумерація та ідентифікація в мережах LTE.</li> <li>• Побудова та функціонування радіоінтерфейсу мереж стандарту LTE.</li> <li>• Застосування MIMO-технологій.</li> </ul> <p>Література:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• [4], глава 2, стор.81 - 121.</li> </ul> <p>СРС: Підготовка конспекту з виконання домашніх завдань</p>
4.	<p>Тема 3. Технологія LTE-Advanced (LTE-A).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Загальна інформація про технологію LTE-A.</li> <li>• Агрегація частотного спектру.</li> <li>• Удосконалена лінія передачі "вгору".</li> </ul> <p>Література:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• [4], глава 3, стор.122 - 144.</li> </ul> <p>СРС: Підготовка конспекту з виконання домашніх завдань</p>
5.	<p>Тема 3 (продовження).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Антенні технології</li> <li>• Координовані прийом - передача.</li> <li>• Передача з ретрансляцією.</li> <li>• Подвійне та пряме з'єднання.</li> <li>• Інші іноваційні технології в LTE-Advanced Pro.</li> </ul> <p>Література:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• [4], глава 3, 145 - 170.</li> </ul> <p>СРС: Підготовка конспекту з виконання домашніх завдань.</p>
6.	<p>Тема 4. Приймальне та передавальне обладнання LTE.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Структура передавальних та приймальних пристроїв стандарту LTE.</li> <li>• Архітектура абонентських терміналів та їх категорії.</li> <li>• Структура пристроїв при роботі у режимі агрегованого спектру частот.</li> <li>• Еволюція абонентських терміналів.</li> </ul> <p>Література:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• [4], глава 4.</li> </ul> <p>СРС: Підготовка конспекту з виконання домашніх завдань.</p>
7.	<p>Тема 5. Гетерогенні мережі (HetNet).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Проблема розвантаження мереж мобільного зв'язку та шляхи її вирішення.</li> <li>• Технології Wi-Fi Offloading.</li> <li>• Використання неліцензійних частот у мережах LTE.</li> <li>• Технології малих сот. Розподілені антенні системи.</li> </ul> <p>Література:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• [4], глава 5.</li> </ul> <p>СРС: Підготовка конспекту з виконання домашніх завдань.</p>
8.	<p>Тема 6. Планування мереж SM3 стандарту LTE.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Особливості планування мереж стандарту LTE.</li> <li>• Вибір параметрів мереж.</li> <li>• Частотне планування мереж LTE.</li> <li>• Розрахунок енергетичного бюджету радіолінії в мережах LTE.</li> <li>• Оцінка середньої пропускну здатності та ємності мережі.</li> </ul> <p>Література:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• [4], глава 6, стор.238 - 262.</li> </ul> <p>СРС: Підготовка конспекту з виконання домашніх завдань</p>
9.	<p>Тема 6 (продовження).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Методи оптимізації мережі.</li> <li>• Концепція мереж, що самоорганізуються.</li> <li>• Планування гетерогенних мереж.</li> <li>• Порівнювальний аналіз планування мереж мобільного зв'язку різних поколінь.</li> <li>• Планування та підтримка безперебійної роботи обладнання операторів мобільного зв'язку.</li> </ul> <p>Література:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• [4], глава 6, стор.263 - 297.</li> </ul> <p>СРС: Підготовка конспекту з виконання домашніх завдань</p>

10.	<p>Тема 7. Транспортні мережі в архітектурі систем мобільного зв'язку.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Місце транспортних мереж у загальній структурі СМЗ.</li> <li>• Вимоги до транспортних мереж та основні технології.</li> <li>• Класифікація ліній зв'язку.</li> <li>• Оптичні транспортні мережі.</li> <li>• Перехід до мереж NGN.</li> <li>• Проектування транспортних мереж.</li> </ul> <p>Література:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• [4], глава 7.</li> </ul> <p>СРС: Підготовка конспекту з виконання домашніх завдань</p>
11.	<p>Тема 8. Якість обслуговування в мережах LTE.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Принципи керування та критерії якості обслуговування в мережах LTE.</li> <li>• Процедура організації та зміни параметрів якості наскрізних каналів.</li> <li>• Якість обслуговування у гетерогенних мережах.</li> </ul> <p>Література:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• [4], глава 8.</li> </ul> <p>СРС: Підготовка конспекту з виконання домашніх завдань</p>
12.	<p>Тема 9. Безпека в мережах LTE.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Принципи безпеки зв'язку у мережах LTE.</li> <li>• Принципи функціонування систем забезпечення правоохоронної діяльності.</li> </ul> <p>Література:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• [4], глава 12, 13.</li> </ul> <p>СРС: Підготовка конспекту з виконання домашніх завдань</p>
13.	<p>Тема 10. Основні напрямки розвитку СМЗ.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Віртуалізація мережевої інфраструктури.</li> <li>• Спільне використання мережевої інфраструктури кількома операторами.</li> <li>• Застосування технологій Big Data.</li> <li>• Інтернет речей.</li> <li>• Когнітивні системи.</li> <li>• Організація професійного мобільного зв'язку на основі мереж LTE.</li> </ul> <p>Література:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• [4], глава 14.</li> </ul> <p>СРС: Підготовка конспекту з виконання домашніх завдань</p>
14.	<p>Тема 11. Технології п'ятого покоління мобільного зв'язку.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Передумови появи та стандартизація мереж 5G.</li> <li>• Еволюція мереж мобільного зв'язку до технологій 5G.</li> <li>• Частотні аспекти реалізації мереж 5G.</li> </ul> <p>Література:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• [4], глава 15, стор. 273 – 300..</li> </ul> <p>СРС: Підготовка конспекту з виконання домашніх завдань</p>
15.	<p>Тема 11 (продовження).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Основні вимоги та послуги мереж 5G.</li> <li>• Ключові рішення та технологічні компоненти мереж 5G.</li> <li>• Використання технологій Massive MIMO.</li> <li>• Опорна мережа 5G. Якість обслуговування у 5G.</li> <li>• Особливості абоненських терміналів 5G.</li> </ul> <p>Література:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• [4], глава 15, стор. 301 – 331.</li> </ul> <p>СРС: Підготовка конспекту з виконання домашніх завдань</p>
16.	<p>Тема 12. На шляху до мереж мобільного зв'язку 6G.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Передумови появи 6G.</li> <li>• Перспективні технології, поява яких очікується у мережах 6G.</li> <li>• Проблеми впровадження мереж 6G.</li> <li>• Потенційні технологічні рішення для мереж 6G.</li> </ul> <p>Література:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• [4], глава 16.</li> </ul> <p>СРС: Підготовка конспекту з виконання домашніх завдань</p>

## Практичні заняття

№ заняття	Тема заняття та перелік основних питань
1.	Тема П1: Частотно-територіальне планування СМЗ нових поколінь. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Алгоритми та методики частотно-територіального планування.</li> <li>• Вихідні моделі, що застосовуються для радіо планування.</li> <li>• Особливості планування мереж мобільного зв'язку різних поколінь.</li> </ul> Література: <ul style="list-style-type: none"> <li>• [2], глави 2, 3.</li> <li>• [6], глави 2, 3.</li> </ul> СРС: Підготовка конспекту з виконання домашніх завдань
2.	Тема П1 (продовження) <ul style="list-style-type: none"> <li>• Основні програмні засоби радіо планування.</li> <li>• Програмне середовище Атол.</li> </ul> Література: <ul style="list-style-type: none"> <li>• [6], глави 4, 5.</li> </ul> Література: Керівництво для користувача програмного засобу Атол. СРС: Підготовка конспекту з виконання домашніх завдань
3.	Тема П2. Моделювання каналів мобільного зв'язку в середовищі Матлаб. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Моделі каналів мобільного зв'язку відповідно до матеріалів групи 3GPP.</li> <li>• Засоби моделювання каналів мобільного зв'язку у середовищі Матлаб.</li> </ul> Література: Довідкові матеріали з програмного додатку Matlab. Електронний ресурс: <a href="https://www.mathworks.com/products/matlab.html">https://www.mathworks.com/products/matlab.html</a> СРС: Підготовка конспекту з виконання домашніх завдань
4.	Тема П2 (продовження) Перевірка виконання домашніх завдань. Розбір прикладів та задач.
5.	Тема П3. Пр.3. Моделювання MIMO систем. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Моделі MIMO систем відповідно до матеріалів групи 3GPP.</li> <li>• Засоби моделювання MIMO систем у середовищі Матлаб.</li> </ul> Література: <ul style="list-style-type: none"> <li>• [2], глава 10.</li> </ul> Довідкові матеріали з програмного додатку Matlab. Електронний ресурс: <a href="https://www.mathworks.com/products/matlab.html">https://www.mathworks.com/products/matlab.html</a>
6.	Тема П3 (продовження) Перевірка виконання домашніх завдань. Розбір прикладів та задач.
7.	Тема П4. Сертифіковані моделі фізичних каналів LTE та 5G NR у середовищі Матлаб. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ознайомлення із сертифікованими методиками моделювання радіоканалів мобільного зв'язку у середовищі Матлаб.</li> <li>• Методи перевірки моделей на відповідність стандартам.</li> </ul> Література: Довідкові матеріали з програмного додатку Matlab. Електронний ресурс: <a href="https://www.mathworks.com/products/matlab.html">https://www.mathworks.com/products/matlab.html</a>
8.	Тема П4 (продовження) Перевірка виконання домашніх завдань. Розбір прикладів та задач.

### 6. Самостійна робота студента

По кожному лекційному, практичному та лабораторному заняттю студент одержує завдання для самостійної роботи з пройденого матеріалу. Усі виконані домашні завдання мають бути записані до конспекту. Конспекти регулярно перевіряються викладачами

## Політика та контроль

### 7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Загально прийнята на РТФ.

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

Відвідання занять є обов'язковим. Контролю підлягають виконання домашніх завдань,

практичних і лабораторних робіт. Увесь семестр ведеться поточна успішність. Допуск студента до екзамену можливий лише у випадку, коли його поточна успішність не менша за 60 балів. Якщо поточна успішність студента на момент початку екзаменозаційної сесії перевищує 80 балів, то студент може бути звільнений від складання іспиту.

**Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою**

<b>Кількість балів</b>	<b>Оцінка</b>
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**

Усі матеріали для вивчення дисципліни розміщено на персональному сайті викладача за адресою:

<http://oleksa-site.blogspot.com/p/blog-page.html>

Лабораторні заняття з даної дисципліни проводяться в лабораторії мобільного зв'язку кафедри PI (к.503)

---

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

**Складено** [Калюжний О. Я.](#);

**Ухвалено** кафедрою PI (протокол № 06/2023 від 22.06.2023 )

**Погоджено** методичною комісією факультету/ННІ (протокол № 06-2023 від 29.06.2023 )