



# РАДІОМЕРЕЖІ

## Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

### Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	Другий (магістерський)
Галузь знань	17 Електроніка та телекомунікації
Спеціальність	172 Телекомунікації та радіотехніка
Освітня програма	Радіоелектронна інженерія
Статус дисципліни	Вибіркова
Форма навчання	Очна
Рік підготовки, семестр	1 курс, осінній семестри
Обсяг дисципліни	4 кред (Лекц. 18 год, Лаб. 36 год, СРС. 66 год)
Семестровий контроль/ контрольні заходи	Залік
Розклад занять	<a href="http://rozklad.kpi.ua">http://rozklad.kpi.ua</a>
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: к.т.н., доцент, Головін Володимир Андрійович, <a href="mailto:golva@meta.ua">golva@meta.ua</a> , тел. 096 440 71 65 Лабораторні: к.т.н., доцент, Головін Володимир Андрійович
Розміщення курсу	<a href="https://do.ipu.kpi.ua/course/view.php?id=4356">https://do.ipu.kpi.ua/course/view.php?id=4356</a>

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

**Опис навчальної дисципліни.** Постійний і сталий розвиток інформаційних технологій, розширення об'єктів обміну інформацією вимагає значного поліпшення сучасних мереж з радіодоступом, збільшення швидкості передачі даних, підвищення надійності зв'язку, зменшення затримок, освоєння частотних діапазонів НВЧ.

Дисципліна «Радіомережі» допоможе здобувачам вищої освіти засвоїти базові знання з архітектури сучасних радіомереж, еволюції та напрямків розвитку підсистем радіодоступу.

**Мета навчальної дисципліни.** Метою навчальної дисципліни є вивчення принципів побудови сучасних мереж безпроводного доступу, вибору ефективних алгоритмів побудови радіоканалів мереж на каналному та

фізичних рівнях , розрахунків та проектування радіомереж на сучасному програмному забезпеченні.

**Предмет вивчення:** базові архітектури, радіоканали, протоколи множинного доступу, методи аналізу та проектування радіомереж.

### **Компетентності.**

Здатність обґрунтовувати технічне завдання при плануванні радіомережі ; аналізувати втрати при поширенні сигналу по відповідним трасам як всередині приміщень так і у навколишньому просторі, вибирати ефективні алгоритми побудови радіоканалів мереж на каналному та фізичних рівнях; виконувати обрахунки систем рухомого зв'язку.

Здатність розраховувати та проектувати радіомережі на сучасному програмному забезпеченні

### **Програмні результати навчання**

Виконання вибору сучасних методів модуляції та кодування, адаптації в радіоканалах, протоколів множинного доступу для організації множинного зв'язку в стільникових мережах.

Використовувати основні принципи планування стільникових систем рухомого зв'язку; основних принципів теорії масового обслуговування; сучасного програмного забезпечення для розрахунків та проектування.

Пререквізити: Ефективність вивчення дисципліни залежить від рівня знань і умінь отриманих за час навчання як іноземна мова (бажано, англійська), математика, «Інформатика», «Цифрові пристрої», «Цифрове оброблення сигналів», «Основи теорії передавання інформації» «Основи мобільного зв'язку», «Статистична радіотехніка».

Постреквізити: Знання і вміння, отримані здобувачами вищої освіти магістр при вивченні даного курсу використовуються при виконанні магістерської роботи та науковій діяльності.

## **2. Зміст навчальної дисципліни**

### **Розділ 1. Модель відкритих систем OSI**

**Тема 1.** Фізичний та каналний рівні моделі.

### **Розділ 2. Сучасні напрямки технологій радіоканалів.**

**Тема 2** Канали з розширеним спектром.

**Тема 3.** Канали з розділенням смуги частот. OFDM.

**Тема 4.** Системи MIMO.

**Тема 5.** Просторово часові алгоритми обробки сигналів.

## Тема 6 Адаптивні антенні системи

### Розділ 3. Архітектура сучасних радіомереж

Тема 7. Архітектура LTE, G5.

Тема 8. Концепція Network slicing.

Тема 9. Базові сценарії eMBB, URLLC, mMTC, ШІ.

### 3. Навчальні матеріали та ресурси

#### *Література базова:*

1. Головін, В. А. Радіомережі. Багатоантенні системи [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка» / В. А. Головін, О. О. Шпилька ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл 6,51 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 169 с. [ELAKPI: Радіомережі. Багатоантенні системи](#)
2. A.Goldsmith. Wireless Communications  
[http://fa.ee.sut.ac.ir/Downloads/AcademicStaff/1/Courses/7/Andrea%20Goldsmith-Wireless%20Communications-Cambridge%20University%20Press%20\(2005\).pdf](http://fa.ee.sut.ac.ir/Downloads/AcademicStaff/1/Courses/7/Andrea%20Goldsmith-Wireless%20Communications-Cambridge%20University%20Press%20(2005).pdf)
3. Yong Soo Cho, Jaekwon Kim, Won Young Yang, Chung G. Kang MIMO-OFDM WIRELESS COMMUNICATIONS WITH MATLAB <https://www.pdfdrive.com/mimo-ofdm-wireless-communications-with-matlab-d157098362.html>

#### *Література додаткова:*

1. J.G.Proakis, M. Salehi. Digital Communications.  
<http://bayanbox.ir/view/9054313655403765775/Digital-Communications-5th-Edition.pdf>
2. Ильченко М.Е., Бунин С.Г. , Войтер А.П. Сотовые радиосети с коммутацией пакетов. Киев, наукова думка,2003.
3. Системи телекомунікацій .Підруч.для ВНЗ, За ред. М.І. Мазуркова і В.І. Правди, Одесса -ТЕС, 2005.

### Навчальний контент

#### 4. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента) Перелік питань винесених на лекційні заняття

№	Назва теми та перелік основних питань
1	Модель відкритих систем OSI. Класифікація, основні напрямки розвитку радіомереж. Мережевий, каналний та фізичний рівні . Основні характеристики поширення радіохвиль. Багатопроменеві канали. Час розсіювання, когерентна смуга частот, час когерентності каналу, ефект Доплера. Види федингів. Методи вимірювання

	<p>характеристик каналів поширення радіохвиль. Моделі та методи розрахунків рівня сигналів.</p> <p>Література: [ 2]</p> <p><i>Завдання для СРС.</i> Параметри каналів поширення хвиль.</p>
2	<p>Канали з розширеним спектром. Пряме розширення спектру, розширення спектру стрибками частоти, стрибкі в часовій області, енергетичний вигравш. Характеристики послідовностей розширення спектру. Кореляційні функції послідовностей.</p> <p>Література: [ 2]</p> <p><i>Завдання для СРС</i> Енергетичний вигравш каналів з розширення спектру.</p>
3	<p>Канали з розділенням смуги частот на парціальні канали. (OFDM). Енергетичні та спектральні характеристики. Цифрові методи формування сигналів в передавачі та демодуляції в приймачах.</p> <p>Література: [3]</p> <p><i>Завдання для СРС</i> Розрахунок швидкості передачі даних в каналах з OFDM</p>
4	<p>Системи MIMO. Рознесення сигналів на прийомі та передачі. Реалізація каналів з незалежними завмираннями. Кодування та перекодування. Багатопотокові системи передачі даних. Системи SU-MIMO, MU-MIMO.</p> <p>Література: [1, 2]</p> <p><i>Завдання для СРС</i> Прекодування в реальних системах MIMO</p>
5	<p>Алгоритм Аламоуті. Просторово-часові алгоритми обробки сигналів STC, STBC. Кодування та перекодування.</p> <p>Література: [1, 2]</p> <p><i>Завдання для СРС</i> Аламоуті в каналах 2x2 MIMO</p>
6	<p>Адаптивні антенні решітки смарт антени формування діафрагм направленості. Перспективи розвитку ЦАР. Адаптивні радіоканали.</p> <p>Література: [1, 2]</p> <p><i>Завдання для СРС</i> Критерії адаптації.</p>
7	<p>Еволюція архітектури радіомереж. Архітектура сучасних телекомунікаційних мережах. Мережі з випадковою організацією Архітектура мереж LTE.</p> <p>Література: [2]</p> <p><i>Завдання для СРС</i> Архітектура мереж G2, G3</p>
8	<p>Принципи створення глобальних мереж. Віртуалізація та побудова шарів мереж Network slicing.</p> <p>Література: [ 2]</p> <p><i>Завдання для СРС</i> Організація шару мережі для інтернет речей</p>
9	<p>Основні принципи організації мереж G5,G6. Базові сценарії eMBB , URLLC , mMTC ,ШІ.</p> <p>Література: [ 2]</p> <p><i>Завдання для СРС</i> Штучний інтелект в радіомережах.</p>

№ з/п	Назва лабораторної роботи (комп'ютерного практикуму)	Кількість ауд. годин
1	Моделювання та дослідження характеристик радіоканалів в Matlab, Simulink.	4
2	Моделювання та дослідження характеристик радіоканалів з OFDM, F-OFDM.	4
3	Моделювання та дослідження характеристик радіоканалів з розширенням спектру.	4
4	Моделювання та дослідження характеристик системи MIMO .	4
5	Дослідження оптимальної і адаптивних лінійних цифрових антенних решіток.	4
6	Моделювання та дослідження характеристик системи MIMO з адаптивними методами формування діаграми направленості	4
7	Моделювання каналу Аламоуті. MIMO.	4
8	Ознайомлення з програмами розрахунків радіомереж ATDA IC Telecom.	4
9	Розрахунок стільникових мереж.	4

### 5. Самостійна робота студента/магістра

На самостійну роботу студентів відводиться 66 годин. Вона складається з:

- Опрацювання матеріалу лекцій та підготовки до тестів за лекційними матеріалами – 28 год.;
- підготовки до лабораторних робіт, проведення необхідних розрахунків та оформлення протоколів лабораторних робіт, підготовка до захисту лабораторних робіт – 28 год.;
- підготовка до модульної контрольної роботи – 4 год.;
- підготовка до заліку–6 год.;

## Політика та контроль

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

**Рекомендовані методи навчання:** вивчення основної та допоміжної літератури за тематикою лекцій, виконання лабораторних робіт. Студенту рекомендується вести докладний конспект лекцій. Важливим аспектом якісного засвоєння матеріалу, відпрацювання методів та алгоритмів вирішення основних завдань дисципліни є самостійна робота. Вона містить читання літератури, огляд літератури за темою, підготовку до занять, контрольних заходів та іспиту. Метою лабораторних робіт є: поглиблення і закріплення теоретичних знань, набуття навиків моделювання з використанням обчислювальної техніки, набуття навиків оцінки достовірності отриманих результатів та оформлення документів. Програмне забезпечення реалізоване в обчислювальному середовищі для наукових і інженерних розрахунків Matlab. В режимі дистанційного навчання лабораторні роботи 1- 9 виконуються на домашньому персональному комп'ютері в пакеті прикладних програм MATLAB 2016, MATLAB 2020, Системі ATDA IC Telecom.

**Правила відвідування занять.** Всі заняття проводяться в аудиторії або в дистанційному режимі, лекції та лабораторні роботи проводяться в відповідності до розкладу наданого деканатом. Контроль здійснюється на занятті викладачем, якщо воно проводиться в аудиторії в ZOOM, або за результатами тестів з матеріалу лекцій та надходженню звітів про виконання лабораторних робіт, якщо воно дистанційне. Відвідування занять обов'язкове (як лекцій, так і лабораторних занять).

**Призначення заохочувальних та штрафних балів.** Заохочувальні бали виставляються за: активну участь на лекціях та лабораторних заняттях, участь у конкурсах робіт, підготовку та публікацію наукових статей і тезисів доповідей на наукових конференціях, участь в науково-дослідній роботі на тему, що відповідає темам дисципліни. Кількість заохочуваних балів не більше 10;

Штрафні бали можуть виставлятися за: невиконання або невчасне виконання завдань та звітів лабораторних робіт. Кількість штрафних балів не більше 10.

**Академічна доброчесність** Політика та принципи академічної доброчесності визначені у розділі 3 Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Детальніше: <https://kpi.ua/code>.

**Норми етичної поведінки** Норми етичної поведінки студентів і працівників визначені у розділі 2 Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Детальніше: <https://kpi.ua/code>.

**Навчання іноземною мовою** Навчальна дисципліна «Радіомережі» передбачає її вивчення на українській мові. У процесі викладання навчальної дисципліни використовуються матеріали та джерела українською та англійською мовами.

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

**Поточний контроль:** здійснюється шляхом опитування на лабораторних заняттях та при виконанні МКР.

**Календарний контроль:** провадиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу.

**Семестровий контроль:** Залікова контрольна робота.

### **Рейтингова система оцінювання результатів навчання.**

1. Рейтинг студента з кредитного модуля розраховується виходячи із 100-бальної шкали Рейтинг (протягом семестру) складається з балів, що студент отримує за:

- виконання і захист лабораторних робіт;
- виконання модульної контрольної роботи (МКР);

2. Критерії нарахування балів.

2.1. Лабораторні роботи .Студент не допускається до захисту, якщо звіт не оформлений відповідно до вимог. При захисті за кожну лабораторну роботу нараховуються бали:

- «відмінно» – повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) – 8 балів;
- «добре» – достатньо повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації) або повна відповідь з незначними помилками – 6 балів;
- «задовільно» – неповна відповідь (не менше 60% потрібної інформації) та незначні помилки – 3 бали;
- «незадовільно» – відповідь не відповідає вимогам до «задовільно» – 0 балів.

## 2.2. Модульна контрольна робота оцінюється із 28 балів:

- «відмінно» – правильно і повністю виконані всі завдання (не менше 90% потрібної інформації) – 20-28 балів;
- «добре» – частково виконані завдання (не менше 75% потрібної інформації) – 12-19 балів;
- «задовільно» – завдання контрольної роботи виконані із помилками (не менше 60% потрібної інформації) – 5-12 балів;
- «незадовільно» – завдання не виконані або містять грубі помилки, МКР не зараховано – 0 балів.

$$\text{Сума } 8 \times 9 + 28 = 100$$

## 3. Залікова контрольна робота – 100 балів.

На заліку студенти відповідають на питання залікової контрольної роботи. Кожен білет містить три запитання (завдання). Кожне запитання (завдання) оцінюється у 33 бали за такими критеріями:

«відмінно», повна відповідь, не менше 90% потрібної інформації (повне, безпомилкове розв'язування завдання) – 29-33 балів;

«добре», достатньо повна відповідь, не менше 75% потрібної інформації, є незначні неточності (повне розв'язування завдання з незначними помилками) – 24-28 балів;

«задовільно», неповна відповідь, не менше 60% потрібної інформації, деякі помилки (завдання виконане з певними недоліками) – 10-23 балів;

«незадовільно», відповідь не відповідає умовам до «задовільно» – 0 балів.

4. Календарна проміжна атестація студентів проводиться за значенням поточного рейтингу студента на час атестації. Умовою позитивної першої атестації є отримання не менше 20 балів. Умовою позитивної другої атестації – отримання не менше 40 балів.

5. Студенти, які виконали всі умови допуску до заліку та мають рейтингову оцінку 60 і більше балів, отримують відповідну до набраного рейтингу оцінку без додаткових випробувань

6. Студенти, які виконали всі умови допуску до заліку та мають рейтингову оцінку менше 60 балів, а також студенти, хто бажає підвищити свою рейтингову оцінку, на останньому за розкладом занятті з дисципліни в семестрі виконують залікову контрольну роботу.

Після виконання залікової контрольної роботи, якщо оцінка за залікову контрольну роботу більша ніж за рейтингом, здобувач отримує оцінку за результатами залікової контрольної роботи. Якщо оцінка за залікову контрольну роботу менша ніж за рейтингом, застосовується студент отримує більшу з оцінок, що отримані за результатами залікової контрольної роботи або за рейтингом

7. З метою посилення зацікавленості студентів якісному виконанні індивідуальні завдань, протягом семестру, рейтингова оцінка, у разі виконання залікової контрольної роботи,

визначається як суму балів за залікову контрольну роботу та балів за семестрове завдання. У цьому випадку розмір шкали оцінювання залікової контрольної роботи зменшується на максимальне значення балів, передбачених за виконання відповідного індивідуального семестрового завдання (до 28 балів)

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою

<i>Кількість балів</i>	<i>Оцінка</i>
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

#### **8. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)**

- положення про рейтингову систему оцінки успішності доводиться на першому занятті з дисципліни;
- попередня рейтингова оцінка  $R$  з кредитного модуля (дисципліни) доводиться до студентів на останньому занятті;
- календарна атестація студентів з дисципліни проводиться викладачами за значенням поточного рейтингу студента на час атестації  $t$ . Якщо значення цього рейтингу не менше 50% від максимально можливого ( $R_t$ ) на час атестації  $RD_t \geq 0,5R$ , студент вважається задовільно атестованим. В іншому випадку – в атестаційній відомості виставляється «не зараховано».

#### **Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):**

**Складено** Головін Володимир Андрійович

**Ухвалено** кафедрою РТС (протокол № 061/23 від 22.06.2023 р.)

**Погоджено** методичною комісією факультету електроніки (протокол № 6/23 від 29.06.2023 р.).

**Погоджено** Методичною комісією Радіотехнічного факультету (протокол № 06/23 від 29.06.2023 р.)



