

[RE-343] МІКРОХВИЛЬОВІ ПРИЛАДИ ТА АНТЕНИ



Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	Перший (бакалаврський)
Галузь знань	17 - Електроніка, автоматизація та електронні комунікації
Спеціальність	172 - Електронні комунікації та радіотехніка
Освітня програма	172Б ІТРЕТ+ - Інтелектуальні технології радіоелектронної техніки (ЄДЕБО id: 57907)G5Б ІТРЕТ - Інтелектуальні технології радіоелектронної техніки (ЄДЕБО id: 83616)
Статус дисципліни	Нормативна
Форма здобуття вищої освіти	Очна
Рік підготовки, семестр	3 курс, осінній семестр
Обсяг дисципліни	5 кред. (Лекц. 36 год, Практ. 36 год, Лаб. 18 год, СРС. 60 год)
Семестровий контроль/контрольні заходи	Екзамен
Розклад занять	https://schedule.kpi.ua
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лекц.: Перебудов С. М. , Практ.: Перебудов С. М. , Лаб.: Перебудов С. М. , СРС.: Перебудов С. М.
Розміщення курсу	https://classroom.google.com/c/Nzl1OTQzMjYwNjE1?cjc=w4brxw5

Програма навчальної дисципліни

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

Стрімкий розвиток телекомунікаційних систем, їх інтелектуалізація обумовив зближення багатьох областей досліджень, які раніше розвивались окремо. Поширення електромагнітних хвиль, цифрова техніка, потужні мікрохвильові генератори, пристрої антен, твердотільні надвисокочастотні прилади — усі ці розділи техніки можна об'єднати загальною назвою:

генерація та перетворення електромагнітних сигналів задля передачі інформації з високою швидкістю. Розробка апаратури такого класу вимагає від радіоінженера уміння вирішувати комплексні проблеми використання різноманітних мікрохвильових приладів та антенних пристроїв.

Дисципліна «Мікрохвильові прилади та антени» (ПО 03) належить до циклу професійно-практичної підготовки студентів першого (бакалаврського) рівню вищої освіти за спеціальністю «Електронні комунікації та радіотехніка».

Метою викладання дисципліни є формування знань про мікрохвильові прилади та антени, що використовуються в системах бездротового зв'язку, розуміння методів генерування, передачі, перетворення радіосигналів такими пристроями та базові технологічні операції виробничого процесу.

Предметом дисципліни є найважливіші компоненти та пристрої мікрохвильової техніки, їх основні технічні характеристики, умови експлуатації та галузь застосування.

В результаті навчання у студента формуються:

Загальні компетентності

ЗК 01 Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.

ЗК 02 Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

ЗК 04 Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.

ЗК 07 Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.

ЗК 08 Вміння виявляти, ставити та вирішувати проблеми

Фахові компетентності

ФК 01 Здатність розуміти сутність і значення інформації в розвитку сучасного інформаційного суспільства.

ФК 03 Здатність використовувати базові методи, способи та засоби отримання, передавання, обробки та зберігання інформації.

ФК 04 Здатність здійснювати комп'ютерне моделювання пристроїв, систем і процесів з використанням пакетів прикладних програм.

ФК 08 Готовність сприяти впровадженню перспективних технологій і стандартів.

ФК 10 Здатність здійснювати монтаж, налагодження, налаштування, регулювання, дослідну перевірку працездатності, випробування та здачу в експлуатацію споруд, засобів і устаткування телекомунікацій та радіотехніки.

ФК 12 Здатність проводити роботи з керування потоками навантаження інформаційно-телекомунікаційних мереж.

ФК 16 Здатність застосовувати стандартні методи розрахунку при проектуванні вузлів телекомунікаційних та радіотехнічних пристроїв і систем.

ФК 18 Здатність оцінювати місце та переваги впровадження елементів інтелектуальних технологій та інтелектуальної радіоелектроніки в різні галузі діяльності людини.

ФК 20 Здатність обирати методи та засоби обробки інформації із застосуванням інтелектуальних технологій.

ФК 22 Здатність до вибору та критичної оцінки та вибору технічних рішень на всіх етапах розробки та проектування радіоелектронної апаратури із застосуванням інтелектуальних технологій

ФК 23 Здатність обирати та застосовувати спеціалізовані програмні засоби для імітаційного моделювання та проектування радіоелектронної апаратури.

ФК 25 Здатність обґрунтовано вибирати САПР для виконання аналізу, розрахунку, оптимізації вихідних характеристик математичних та схемних моделей аналогових та цифрових пристроїв в залежності від діапазону частот з урахуванням факторів зовнішнього впливу, використовувати інформаційні ресурси Internet для отримання математичних та конструкторських моделей радіокомпонент від виробників виходячи від оцінки особливостей передачі інформації в радіомережах

Вивчення дисципліни "Мікрохвильові прилади та антени" сприяє досягненню таких програмних результатів навчання

ПРН 01 Аналізувати та приймати обґрунтовані рішення при розв'язанні спеціалізованих задач та практичних проблем телекомунікацій та радіотехніки, які характеризуються комплексністю та неповнотою визначеності умов.

ПРН 02 Застосовувати результати особистого пошуку та аналізу інформації для розв'язання якісних і кількісних задач подібного характеру в інформаційно-комунікаційних мережах, телекомунікаційних і радіотехнічних системах;

ПРН 04 Пояснювати результати, отримані в результаті проведення вимірювань, в термінах

їх значущості та пов'язувати їх з відповідною теорією.

ПРН 07 Грамотно застосовувати термінологію галузі телекомунікацій та радіотехніки.

ПРН 13 Застосовувати фундаментальні і прикладні науки для аналізу та розробки процесів, що відбуваються в телекомунікаційних та радіотехнічних системах.

ПРН 22 Контролювати технічний стан інформаційно-комунікаційних мереж, телекомунікаційних і радіотехнічних систем у процесі їх технічної експлуатації з метою виявлення погіршення якості функціонування чи відмов, та його систематична фіксація шляхом документування.

ПРН 26 Проектувати та реалізовувати елементи інтелектуальних технологій за допомогою програмно-конфігурованої апаратури.

ПРН 27 Застосовувати основні методи та способи отримання інформації.

ПРН 28 Застосовувати методи та засоби впливу на параметри фізичного середовища.

ПРН 29 Обирати конфігурацію, структуру, основні складові вузли та елементи радіоелектронної апаратури в залежності від її призначення.

ПРН 30 Застосовувати комплексний підхід до проектування телекомунікаційної та радіоелектронної апаратури.

У межах вищевизначених загальних та фахових компетентностей і програмних результатів навчання студенти повинні:

знати фізичні основи функціонування та технічні характеристики приладів і антен мікрохвильового діапазону; основні методи їх моделювання та етапи розробки; вміти користуватися набутими знаннями при проектуванні, розробці та експлуатації телекомунікаційної апаратури, до складу якої входять пристрої мікрохвильового діапазону; проводити аналіз перетворення сигналів в таких пристроїв.

Студенти набувають досвіду роботи з окремими компонентами телекомунікаційної техніки та їх застосуванням під час створення інтелектуальних систем різного функціонального призначення

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

Міждисциплінарні зв'язки обумовлені місцем дисципліни «Мікрохвильові прилади та антени» у програмі підготовки фахівців в галузі електроніки та телекомунікації. Вона базується на загальній підготовці студентів з фізики, математики. Дисципліною професійного спрямування, що передують її вивченню, є «Електродинаміка та поширення радіохвиль».

Дисципліна «Мікрохвильові прилади та антени» забезпечує вивчення дисципліни першого (бакалаврського) рівня вищої освіти ступеня «Методи зв'язку в інтелектуальних радіоелектронних системах».

3. Зміст навчальної дисципліни

Назви розділів і тем	Кількість годин				
	Всього	у тому числі			
		Лекції	Практичні	Лабораторні роботи	СРС
Вступ. Зміст і структура дисципліни. Радіосистеми мікрохвильового діапазону, їх структура та застосування	1	1			
Розділ 1 Пасивні пристрої мікрохвильового діапазону					
Тема 1.1 Мікрохвильові лінії передачі	4	1	2		1

Тема 1.2 Основи теорії довгих ліній	11	2	2	3	4
Тема 1.3 Вузькосмугове узгодження вузлів тракту надвисокочастотної апаратури	5,5	2	2		1,5
Тема 1.4 Методи та засоби широкосмугового узгодження мікрохвильових пристроїв	11	2	2	3	4
Тема 1.5 НВЧ резонатори та фільтри	8,5	2	4		2,5
Тема 1.6 Мости і ділянки потужності НВЧ сигналів	5,5	2	2		1,5
Разом за розділом 1	46,5	12	14	6	14,5
Розділ 2 Активні мікрохвильові прилади					
Тема 2.1 Компонентна база активних приладів мікрохвильового діапазону	8	2		3	3
Тема 2.2 Діодні прилади регулювання амплітуди і фази та перетворення частоти НВЧ сигналів	11	2	2	3	4
Тема 2.3 Діодні мікрохвильові генератори	5,5	2	2		1,5
Тема 2.4 Малощумні транзисторні підсилювачі мікрохвильового діапазону	8,5	2	4		2,5
Тема 2.5 Мікрохвильові підсилювачі потужності на транзисторах	5,5	2	2		1,5
Тема 2.6 Активні мікрохвильові прилади на мікросхемах	5,5	2	2		1,5
Тема 2.7 Пристрої та елементи мікросистем бездротового зв'язку	3	2			1
Разом за розділом 2	47	14	12	6	15
Розділ 3 Антени мікрохвильового діапазону					
Тема 3.1 Основні положення теорії антен	5,5	2	2		1,5
Тема 3.2 Антени дециметрового діапазону	11	2	2	3	4
Тема 3.3 Апертурні антени та їх застосування	8	2		3	3
Тема 3.4 Види друкованих антен. Антени мобільного зв'язку	8,5	2	4		2,5
Тема 3.5 Принцип дії та основні компоненти фазованих антенних решіток	5,5	2	2		1,5
Разом за розділом 3	38,5	10	10	6	12,5
Модульна контрольна робота	2				2
Екзамен	2				2
Розрахунково-графічна робота	14				14
Всього годин	150	36	36	18	60

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова

- Бездротові технології інтелектуальної радіоапаратури: Радіоприймальні та радіопередавальні пристрої: Курс лекцій. [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 172 «Електронні комунікації та радіотехніка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: В.А. Дружинін, М.М. Степанов. - Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. - 599 с.
- Ільницький Л.Я. Пристрої надвисоких частот та антени : Навч. посібн. / Ільницький Л.Я., Сібрук Л.В., Щербина О.А. - К: НАУ, 2013. - 188 с.
- Бездротові технології інтелектуальної радіоелектронної апаратури. Частина 1 : Лабораторний практикум [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 172 «Електронні комунікації та радіотехніка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: С. М. Перегудов. - Електронні текстові дані (1 файл: 4,23 Мбайт). - Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. - 70 с. Доступ: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/57245>.
- Бездротові технології інтелектуальної радіоапаратури. Частина 1 : Домашня контрольна робота [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 172 «Електронні комунікації та радіотехніка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: С. М. Перегудов. - Електронні текстові дані (1 файл: 3,21 Мбайт). - Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. - 31 с. Доступ: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/57246>.

5. Телекомунікаційні системи передачі : підручник / В. М. Кичак, О. М. Шинкарук, Г. Г. Бортник, І.І. Чесановський, О.В. Стальченко. - Хмельницький: Видавництво НАДПСУ, 2016. - 424 с.
6. Pozar, D.M. Microwave Engineering / David M. Pozar - 4th ed. - John Wiley & Sons, 2012. - 752 p.
7. Steer, Michael. Fundamentals of Microwave and RF Design. (Third Edition), NC State University, 2019. doi: <https://doi.org/10.5149/9781469656892> Steer.
8. Hong Jia-Sheng. Microstrip filters for RF/microwave applications / Jia-Sheng Hong : 2nd ed. - Hoboken: John Wiley & Sons, Inc., 2011. - 655 p.

Інформаційні ресурси

1. Microwaves101.com (Microwave Encyclopedia) [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://www.microwaves101.com>.
2. Microwave Journal [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://www.microwavejournal.com>.
3. Microwave engineering and antennas [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://www.coursera.org/learn/microwave-antenna?>
4. RF and millimeter-Wave Circuit Design [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://www.coursera.org/learn/rf-mmwave-circuit-design>

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Лекційні заняття

№ лекції	Тема лекції, перелік основних питань, посилання на літературу та завдання на СРС
1, ч.1	Вступ. Зміст і структура дисципліни Область застосування та особливості конструкції радіотехнічних пристроїв і систем мікрохвильового діапазону. Поняття про мікрохвильовий тракт радіотехнічної системи. Його основні елементи та пристрої, їх класифікація та графічне позначення. Завдання на самостійну роботу: повторити матеріал лекції, звернути увагу на теми занять, види завдань і систему оцінювання роботи студентів.
	Розділ 1 Пасивні пристрої мікрохвильового діапазону
1, ч.2	Тема 1.1 Мікрохвильові лінії передачі Основні положення теорії поширення електромагнітних хвиль у вільному просторі та в направляючих структурах (хвильоводах). Огляд основних ліній передачі мікрохвильового діапазону. Закриті лінії передачі (хвильоводи). Види коливань (моди), їх властивості та зв'язок з типом лінії. Двопровідні лінії для швидкісної передачі інформації у комп'ютерних мережах (екранована та неекранована вита пара). Планарні лінії передачі як основа надвисокочастотних мікросхем. Формули для розрахунку основних параметрів. Мікросмужкова лінія передачі (МСП), її основні параметри та характеристики. Завдання на самостійну роботу: повторення матеріал лекції та опрацювання літературних джерел; порівняти параметри основних ліній передачі мікрохвильового діапазону.
№ лекції	Тема лекції, перелік основних питань, посилання на літературу та завдання на СРС
2	Тема 1.2 Основи теорії довгих ліній Поняття довгої мікрохвильової лінії передачі з Т-, Е- та Н-хвилями. Еквівалентна лінія передачі як елемент мікрохвильового кола, її схема. Хвилі напруги та струму, їх поширення у довгій лінії. Режим біжучої хвилі. Коефіцієнт відбиття та коефіцієнт стоячої хвилі. Режим повного відбиття хвиль. Нормовані та ненормовані напруги, струми та опори для еквівалентної та реальних ліній передачі. Коротко замкнена та розімкнена лінія. Лінія без втрат, навантажена на активний та комплексний опори, їх вхідний опір. Залежність вхідного імпедансу від частоти та довжини відрізка. Реалізація індуктивних та ємнісних елементів в мікрохвильових пристроях. Завдання на самостійну роботу: повторення матеріал лекції та опрацювання літературних джерел - провести аналіз особливостей довгих ліній передачі.

3	Тема 1.3 Вузькосмугове узгодження вузлів тракту надвисокочастотної апаратури Відрізок лінії з навантаженням. Трансформувannya опору навантаження. Коротко замкнені та розімкнені на кінці відрізки лінії. Поняття коефіцієнту стоячої хвилі, його зв'язок з коефіцієнтом відбиття. Узгоджене та неузгоджене навантаження довгої лінії. Загальні питання узгодження. Методи узгодження (метод створення додаткового відбиття, метод поглинання відбитої хвилі, метод поглинання падаючої та відбитої хвилі). Чвертьхвильовий трансформатор, його розрахунок. Поняття шлейфа. Послідовний та паралельний шлейфи як узгоджувальні елементи. Використання в узгоджувальному колі двох та трьох шлейфів. Діаграма Сміта як засіб для розрахунку узгоджувальних кіл. Порядок розрахунку параметрів узгоджувальних шлейфів за допомогою діаграми. Завдання на самостійну роботу: повторення матеріалу лекції, опанувати основні методи узгодження вузлів мікрохвильового тракту, навчитися користуватись діаграмою Сміта.
4	Тема 1.4 Методи та засоби широкосмугового узгодження мікрохвильових пристроїв Широкасмугове узгодження мікрохвильових пристроїв за допомогою реактивного чотириполосника. Ступінчасті та плавні переходи. З'єднання пристроїв з різним активним та відрізків ліній з різним хвильовим опорами. Трансформація активної складової вхідного та вихідного опору пристроїв. Ступінчатий та плавний трансформатор активних опорів. Порядок його розрахунку. Переходи для ліній передачі різних типів. Властивості феритних матеріалів у мікрохвильовому діапазоні. Ефект Фарадея. Невзаємні пристрої мікрохвильового тракту. Класифікація феритових пристроїв. Феритові вентиля на резонансному поглинанні та зміщенні поля. Феритові циркулятори, особливості конструкції та принцип дії. Конструкції мікросмужкових невяземних пристроїв. Завдання на самостійну роботу: повторити матеріал лекції, запам'ятати основні види переходів і невяземних пристроїв для ліній передачі та освоїти основні методи їх розрахунку їх параметрів.
5	Тема 1.5 НВЧ резонатори та фільтри Основні характеристики резонатора. Еквівалентна схема об'ємного резонатора з одним елементом зв'язку. Резонатори на відрізках ліній передачі. Конструкції та параметри резонаторів. Прохідний резонатор з двома елементами зв'язку. Каскадне включення резонаторів. Типи фільтрів. Алгоритм синтезу мікрохвильового фільтра. Прототип для синтезу фільтрів. Апроксимація Батерворта і Чебишова. Визначення вхідних втрат фільтра. Розрахунок еквівалентної схеми фільтра нижніх частот. Нормовані фільтри-прототипи нижніх частот. Визначення кількості елементів у схемі фільтра-прототипа та його основних параметрів. Особливості проектування мікрохвильових фільтрів. Визначення конструктивних параметрів елементів фільтра. Особливості конструкції та технології виготовлення. Вимоги до вибору матеріалів. Експериментальне визначення характеристик. Особливості розробки фільтрів верхніх частот та смугових фільтрів для систем мікрохвильового діапазону. Завдання на самостійну роботу: повторити матеріал лекції, порівняти методики розрахунку фільтрів нижніх та верхніх частот, а також смугових фільтрів.
№ лекції	Тема лекції, перелік основних питань, посилання на літературу та завдання на СРС
6	Тема 1.6 Мости і дільники потужності НВЧ сигналів Поняття мікрохвильового багатополосника. Матричні методи опису мікрохвильових пристроїв. Матриці розсіяння та передачі НВЧ пристроїв. Сигнальні графи та їх застосування в теорії НВЧ кіл. Використання шести- та восьмиполосників для розподілу сигналів у НВЧ трактах. Особливості конструкція для різних видів ліній передачі. Мости та дільники потужності. Їх основні характеристики та застосування у мікрохвильовій техніці. Міст Уілкінсона та квадратний міст, принцип їх роботи, основні параметри та порядок розрахунку електричних та конструктивних параметрів. Топологія мостів для мікросмужкових пристроїв. Матриці розсіяння. Особливості використання. Основні переваги та недоліки дільників та суматорів потужності. Принцип дії кільцевого та модифікованого кільцевого мостів. Методика розрахунку параметрів та топології пристрою. Завдання на самостійну роботу: повторити матеріал лекції, пояснити принципи дії пристроїв поділу потужності мікрохвильових сигналів.

Розділ 2 Активні мікрохвильові прилади	
7	Тема 2.1 Компонентна база активних приладів мікрохвильового діапазону Номенклатура сучасної компонентної бази для активних мікрохвильових приладів. Основні параметри та характеристики. Принципи роботи та особливості конструкції електронних приладів для вузлів радіоапаратури мікрохвильового діапазону. Типи надвисокочастотних діодів, їх класифікація, особливості та технології виготовлення. Транзистори для підсилювачів НВЧ сигналів. Критерії вибору та особливості конструкції. Транзистори з високою рухливістю носіїв заряду (HEMT), їх принцип дії та основні параметри. Номенклатура та функціональні можливості сучасних мікросхем надвисокочастотного діапазону, специфіка застосування. Забезпечення робочого режиму напівпровідникових приладів та захищеності від електромагнітних завад. Завдання на самостійну роботу: повторити матеріал лекції, звернути увагу на принципи вибору компонентів для мікрохвильових пристроїв в залежності від їхнього призначення, робочого діапазону частот і потужності сигналів.
8	Тема 2.2 Діодні прилади регулювання амплітуди і фази та перетворення частоти НВЧ сигналів Засоби регулювання параметрів мікрохвильових сигналів. Механічно та електрично-керовані пристрої. Принцип роботи ріп-діода, його напівпровідникова структура. Корпусні та безкорпусні діоди. Електрично-керовані пристрої на ріп-діодах. Принцип роботи модуляторів, атенюаторів та фазообертачів на ріп-діодах. Особливості структури діодів для зазначених приладів. Швидкодія комутаційних пристроїв та методи її підвищення. Діодні детектори та обмежувачі амплітуди сигналів. Вимоги до параметрів та характеристик детекторних НВЧ діодів. Методи та засоби підвищення чутливості детекторних схем НВЧ приладів. Діодні перетворювачі частоти. Їх структурна схема. Балансні та небалансні перетворювачі, їх переваги та недоліки. Особливості конструкцій у мікрохвильовому діапазоні. Перетворювачі частоти на інтегральних і гібридно-інтегральних мікросхемах. Основні принципи проектування перетворювачів частоти. Завдання на самостійну роботу: повторити матеріал лекції, опанувати основні методи розрахунку робочого режиму діодних пристроїв керування амплітудою та фазою мікрохвильових сигналів та визначення їх основних параметрів.
№ лекції	Тема лекції, перелік основних питань, посилання на літературу та завдання на СРС
9	Тема 2.3 Прилади генерації мікрохвильових сигналів Принцип роботи лавинно-пролітного діода (ЛПД) та його використання в генераторних приладах мікрохвильового діапазону. IMPATT і TRAPATT режими роботи. Лавинна частоти діода. Переваги та недоліки використання ЛПД як джерела НВЧ сигналів. Коефіцієнт шуму ЛПД. Генератори еталонного шуму НВЧ діапазону. Ефект Ганна. Принцип роботи діода Ганна та його використання в генераторних пристроях. Використання генераторів на діодах Ганна в мікрохвильовій апаратурі. Основні параметри і характеристики генераторів. Порівняння генераторів на ЛПД і ДГ за коефіцієнтом шуму, частотним діапазоном і робочим режимом. Методи стабілізації частоти діодних генераторів та їх узгодження з іншими вузлами надвисокочастотного тракту. Завдання на самостійну роботу: повторити матеріал лекції, проаналізувати принцип генерації мікрохвильових сигналів за допомогою ЛПД та діода Ганна, звернути увагу на відміну їх основних характеристик та робочого режиму.

10	Тема 2.4 Малошумні транзисторні підсилювачі мікрохвильового діапазону Транзисторні підсилювачі мікрохвильового діапазону. Основні параметри та характеристики підсилювачів (вихідна потужність, коефіцієнт підсилення, коефіцієнт шуму, динамічний діапазон, АЧХ). Класифікація підсилювачів за вихідною потужністю. Малошумні підсилювачів та принципи їх проектування. Елементна база. Методи розрахунку електричних характеристик. Підсилювачі НВЧ діапазону в інтегральному виконанні. Кола живлення активних елементів. Методи розрахунку робочого режиму транзистора підсилювача. Проектування вхідних і вихідних узгоджувальних кіл підсилювача. Стабільність роботи мікрохвильових підсилювачів. Коефіцієнт стійкості. Способи забезпечення постійного коефіцієнта підсилення. Умовна і безумовна стійкість підсилювача. Критерій стійкості. Завдання на самостійну роботу: повторити матеріал лекції, розглянути принципи побудови малошумних підсилювачів, їх застосування в радіоапаратурі бездротового зв'язку та основні характеристики, звернути увагу на класифікацію мікрохвильових підсилювачів та особливості конструкції.
11	Тема 2.5. Мікрохвильові підсилювачі потужності на транзисторах Класифікація підсилювачів потужності та їхня компонентна база. Критерії вибору активних елементів з врахуванням специфіки мікрохвильового діапазону. Особливості конструкції та основні характеристики. Приклади підсилювачів. Визначення динамічного діапазону. Точка компресії. Спотворення сигналу та методи його усунення. Основні принципи проектування мікрохвильових підсилювачів потужності. Проблема тепловідведення. Стабілізація температурного режиму та методи розрахунку системи охолодження активного елементу. Розрахунок робочого режиму транзистора та узгоджувальних кіл з надвисокочастотним трактом. Побудова підсилювачів потужності з використанням суматорів мікрохвильових сигналів. Завдання на самостійну роботу: повторити матеріал лекції, проаналізувати методику розрахунку мікрохвильових підсилювачів потужності та відмітити та її відмінність від малопотужних підсилювачів, звернути увагу на класифікацію мікрохвильових підсилювачів та особливості конструкції.
12	Тема 2.6 Активні мікрохвильові прилади на мікросхемах Класифікація надвисокочастотних мікросхем. Основні типи мікросхем. Інтегральні та гібридно-інтегральні мікросхеми. Основні матеріали сучасних інтегральних НВЧ мікросхем та засоби їх монтажу у пристрої. Особливості гібридно-інтегральних мікросхем. Базові лінії передачі та матеріали, що використовуються для їх побудови. Мікросхеми підсилювачів, змішувачів, синтезаторів мікрохвильового діапазону. Елементи вибору їх робочого режиму та конструктивне виконання. Переваги та недоліки їх застосування в радіоелектронній апаратурі. Принципи побудови приладів для радіосистем мікрохвильового діапазону на основі інтегральних і гібридно-інтегральних мікросхем. Завдання на самостійну роботу: повторити матеріал лекції, розглянути, які типи інтегральних мікросхем НВЧ діапазону представлені на сучасному ринку напівпровідникових приладів; звернути увагу на робочі діапазони частоти та потужності.

№ лекції	Тема лекції, перелік основних питань, посилання на літературу та завдання на СРС
13	Тема 2.7 Пристрої та елементи мікросистем бездротового зв'язку Аналого-цифрове та цифро-аналогове перетворення сигналів. Цифрове оброблення сигналів (ЦОС). Специфіка цифрового оброблення радіосигналів. Методи і засоби ЦОС у приладах мікрохвильового діапазону, їхні особливості. Програмна та апаратна частина пристроїв сучасних систем надвисокочастотного діапазону. Причина обмеження засобів ЦОС в мікрохвильовому діапазоні. Переваги і недоліки програмно-конфігурованих пристроїв. Середовище візуального програмування програмно-конфігурованих пристроїв. Керування їх роботою та налаштування основних параметрів і характеристик. Завдання на самостійну роботу: повторити матеріал лекції, зрозуміти, що означає термін "програмно-конфігурований пристрій", та "цифрове оброблення сигналів"; звернути увагу на співвідношення частоти дискретизації та робочого діапазону мікрохвильового пристрою.
	Розділ 3 Антени мікрохвильового діапазону
14	Тема 3.1 Основні положення теорії антен Загальні відомості про антени. Основні терміни та визначення. Антена як частина каналу зв'язку. Загальна конструкція антени. Близня і далека зони випромінювання. Особливості полів та характеристичних імпедансів у кожній зоні. Загальна характеристика джерел випромінювання. Точкові джерела випромінювання, електричний і магнітний диполі. Визначення їх характеристичного опору в ближній і далекій зоні випромінювання. Поняття ізотропної антени. Основні характеристики антен (спрямованість, коефіцієнт підсилення, вхідний опір, шумова температури). Використання параметрів антени для визначення дальності дії бездротового зв'язку. Класифікація антен мікрохвильового діапазону та їх застосування. Основні параметри і характеристики. Короткий огляд програмного забезпечення для проектування антен. Завдання на самостійну роботу: повторити матеріал лекції, запам'ятати найбільш поширені типи антен, як визначаються їхні параметри і характеристики.
15	Тема 3.2 Антени дециметрового діапазону Основні типи антен. Приклади резонансних антен, їх конструкція. Дипольна та рамкові антени, основні параметри та застосування в апаратурі зв'язку. Переваги і недоліки таких антен, їх модифікації. Антени Bluetooth і Wi-Fi пристроїв. Антени супутникових навігаторів, основні вимоги до їхніх параметрів. Принцип дії та конструкція спіральної антени, параметри та характеристики. Квадріфілярна спіральна антена (КСА). Антена Yagi, характеристики, конструкція та різновиди. Завдання на самостійну роботу: повторити матеріал лекції, провести аналіз конструкцій та принципів роботи найбільш поширених антен дециметрового діапазону.
16	Тема 3.3 Апертурні антени та їх застосування Особливості антен сантиметрового і міліметрового діапазону довжин хвиль. Щілинна та рупорна антени як джерела випромінювання. Діаграма спрямованості рупорної антени. Принцип роботи дзеркальних та лінзових антен. Антени супутникового телебачення, основні вимоги до їх конструкції та електричних параметрів. Прямофокусні та офсетні антени супутникового телебачення, їхня відмінність, діаграма спрямованості, коефіцієнт підсилення та шумові характеристики. Принцип побудови ширококугових антен (антен біжучої хвилі). Антена Вівальді, її частотні характеристики. Діелектричні антени сантиметрового і міліметрового діапазонів. Вимоги до матеріалів їх конструктивних елементів. Аплікаторні антени та зонди біомедичного призначення. Особливості роботи у ближній зоні. Завдання на самостійну роботу: повторити матеріал лекції, порівняти принципи роботи та характеристики представлених антен для різних застосувань, порівняти умови експлуатації антен, розглянутих в лекції.

№ лекції	Тема лекції, перелік основних питань, посилання на літературу та завдання на СРС
17	Тема 3.4 Види друкованих антен. Антени мобільного зв'язку Випромінювальні елементи антен, технологічні особливості реалізації. Друковані антени дециметрового і сантиметрового діапазонів. Мікросмужкові антени, конструкція та їх застосування в техніці зв'язку. Патч-антени як різновид друкованих антен. Розрахунок основних характеристик патч-антени. Основні технологічні процеси виготовлення. Вибір матеріалів для патч-антени, інтеграція з НВЧ трактом радіоапаратури. Друковані антени терміналів мобільного зв'язку та IoT (патч, PIFA тощо). Необхідність використання антен різного типу, забезпечення їхньої електромагнітної сумісності та усунення ефекту екранування антени користувачем. Завдання на самостійну роботу: повторити матеріал лекції, розглянути принципи роботи друкованих антен.
18	Тема 3.5 Принцип дії та основні компоненти фазованих антенних решіток Фізико-технічні основи роботи фазованої антенної решітки (ФАР). Активні і пасивні елементи ФАР. Визначення діаграми спрямованості ФАР, способи і засоби її налаштування. Стаціонарні та портативні антенні системи. Галузі застосування ФАР. Використання ФАР у військовій техніці. Біомедичне застосування антен з керованою діаграмою спрямованості. Використання ФАР у багато променевих системах радіозв'язку. Перспективи застосування у технологіях мобільного зв'язку 5G і 6G. Мікромініатюризація фазованих антенних решіток для портативної радіоапаратури. Завдання на самостійну роботу: повторити матеріал лекції, пояснити принцип роботи фазованих антенних решіток, привести приклади їх застосування.

Практичні заняття

Дисципліна «Мікрохвильові прилади та антени» належить до циклу професійно-практичної підготовки, тому особлива увага надається практичній складовій процесу навчання.

Основною метою практичних занять є:

- поглиблення та закріплення теоретичних знань;
- опанування принципів проектування мікрохвильових пристроїв і систем ;
- вивчення методів розрахунку параметрів базових елементів мікрохвильового тракту;
- опанування методик визначення характеристик мікрохвильових приладів для телекомунікаційних систем;
- набуття навичок оформлення графічної та текстової документації, що супроводжує виробу мікрохвильового діапазону.

№ з/п	Назва теми заняття та перелік основних питань (перелік дидактичного забезпечення, посилання на літературу та завдання на СРС)
	Тема 1.1 Мікрохвильові лінії передачі
1	Розрахунок комплексних імпедансів найпростіших кіл Завдання на самостійну роботу: повторити матеріал практичного заняття, навчитися розраховувати комплексний опір RLC-кіл, визначати їх частотні характеристики та освоїти методи розрахунку коефіцієнта передачі каскадного з'єднання пристроїв.
	Тема 1.2 Основи теорії довгих ліній
2	Визначення основних параметрів лінії передачі з навантаженням Завдання на самостійну роботу: повторити матеріал практичного заняття, навчитися розраховувати основні параметри еквівалентної довгої лінії з навантаженням, для різних режимів її роботи (вхідного опору та коефіцієнту відбиття)
	Тема 1.3 Вузькосмугове узгодження мікрохвильових пристроїв мікрохвильового тракту
3	Розрахунок параметрів узгоджувального кола на елементах із зосередженими та розподіленими параметрами Завдання на самостійну роботу: повторити матеріал практичного заняття, провести розрахунок вузькосмугового узгоджувального кола на зосереджених елементах та шлейфах.

	Тема 1.4 Методи та засоби широкосмугового узгодження мікрохвильових пристроїв
4	Визначення параметрів та розрахунк АЧХ коаксіального ступінчастого переходу Завдання на самостійну роботу: повторити матеріал практичного заняття; навчитися розраховувати електричні параметри ступінчастих переходів та їхніх амплітудно-частотних характеристик.
	Тема 1.5 НВЧ резонатори та фільтри
5	Розрахунок електричних параметрів та топології мікросмужкового фільтра нижніх частот Завдання на самостійну роботу: повторити матеріал практичного заняття; опанувати методику розрахунку фільтра нижніх частот на відрізках мікросмужкової лінії.
6	Розрахунок смугового фільтра мікрохвильового діапазону на резонаторах Завдання на самостійну роботу: повторити матеріал практичного заняття, вивчити порядок розрахунку смугопрускаючого фільтра в середовищі пакету «AWR Design Environment».
	Тема 1.6 Дільники і суматори потужності НВЧ сигналів
7	Аналіз характеристик балансного змішувача Завдання на самостійну роботу: повторити матеріал практичного заняття; провести аналіз основних характеристик балансного змішувача на квадратному мосту в середовищі пакету «AWR Design Environment».
	Тема 2.2 Діодні прилади регулювання амплітуди і фази та перетворення частоти НВЧ сигналів
8	Розрахунок мікросмужкового атенюатора на рпн-діодах Завдання на самостійну роботу: повторити матеріал практичного заняття, навчитися проводити оцінювати основні параметри атенюатора на рпн-діодах та розраховувати топологію кіл живлення.
	Тема 2.3 Діодні мікрохвильові генератори
9	Розрахунок узгоджувального кола та робочого режиму діодного генератора Завдання на самостійну роботу: повторити матеріал практичного заняття, навчитися проводити оцінювати основні параметри генераторних діодів та опанувати методику розрахунку узгоджувальних кіл діодних генераторів.
	Тема 2.4 Малошумні транзисторні підсилювачі мікрохвильового діапазону
10	Розрахунок вхідного та вихідного кола транзисторного підсилювача Завдання на самостійну роботу: повторити матеріал практичного заняття, провести розрахунок вхідного та вихідного узгоджувальних кіл малошумного підсилювача в середовищі пакету «AWR Design Environment».
11	Аналіз основних характеристик малошумного НВЧ підсилювача Завдання на самостійну роботу: повторити матеріал практичного заняття, провести аналіз основних характеристик малошумного підсилювача в середовищі пакету «AWR Design Environment».
	Тема 2.5 Мікрохвильові підсилювачі потужності на транзисторах
12	Визначення коефіцієнта стійкості транзисторного підсилювача Завдання на самостійну роботу: повторити матеріал практичного заняття, опанувати методику визначення коефіцієнта стійкості транзисторних підсилювачів.
	Тема 2.6 Активні мікрохвильові прилади на мікросхемах
13	Розрахунок коефіцієнта передачі каскадного з'єднання мікрохвильових пристроїв Завдання на самостійну роботу: повторити матеріал практичного заняття, опанувати методику визначення коефіцієнта передачі каскадного з'єднання активних приладів за умови їх неузгодження.
	Тема 3.1 Основні положення теорії антен
14	Визначення основних характеристик антен у ближній та далекій зонах Завдання на самостійну роботу: повторити матеріал практичного заняття, навчитися визначати границі зон випромінювання антени та розраховувати характеристичний опір електричного та магнітного диполів.
	Тема 3.2 Антени дециметрового діапазону

15	Узгодження антени з фідерною лінією Завдання на самостійну роботу: повторити матеріал практичного заняття, навчитися розраховувати узгоджувальне коло між антеною і фідером за допомогою діаграми Сміта.
	Тема 3.4 Види друкованих антен. Антени мобільного зв'язку
16	Розрахунок топології та параметрів патч-антени Завдання на самостійну роботу: повторити матеріал практичного заняття, навчитися розраховувати топологію та оцінювати основні параметри патч-антени.
17	Розрахунок параметрів PIFA-антени Завдання на самостійну роботу: повторити матеріал практичного заняття, навчитися розраховувати топологію та оцінювати основні параметри PIFA-антени.
	Тема 3.5 Принцип дії та основні компоненти фазованих антенних решіток
18	Оцінка ефективності передачі сигналів між антенами Завдання на самостійну роботу: повторити матеріал практичного заняття, навчитися оцінювати ефективність передачі потужності сигналів між антенами, використовуючи рівняння Фрііса.

Лабораторні заняття

Основна мета лабораторних занять

- перевірка набутих теоретичних знань на практиці;
- набуття навичок роботи з вимірювальними приладами та обладнанням;
- вивчення методів вимірювання параметрів та експериментальне визначення основних характеристик мікрохвильових пристроїв;
- набуття навичок оцінки експериментальних даних та оформлення висновків.

№ з/п	Назва лабораторної роботи	Кількість ауд. годин
1	Вимірювання характеристик нерегулярностей НВЧ тракту методом зміщення вузлів Завдання на самостійну роботу: підготуватися до лабораторної роботи, використавши матеріал методичних рекомендацій та лекцій 2, 3; виконати експериментальну частину роботи; оформити звіт і підготувати відповіді на контрольні запитання.	3
2	Вимірювання частотних характеристик НВЧ пристроїв панорамним аналізатором P2-69 Завдання на самостійну роботу: підготуватися до роботи, використавши матеріал методичних рекомендацій і лекції 5; виконати експериментальну частину роботи; оформити звіт та підготувати відповіді на контрольні запитання.	3
3	Дослідження характеристик феритового вентиля Завдання на самостійну роботу: підготуватися до роботи, використавши матеріал методичних рекомендацій і лекції 7; виконати експериментальну частину роботи; оформити звіт та підготувати відповіді на контрольні запитання.	3
4	Дослідження характеристик електрично керованого атенюатора Завдання на самостійну роботу: підготуватися до лабораторної роботи, використавши матеріал методичних рекомендацій та лекції 11; виконати експериментальну частину роботи; оформити звіт та підготувати відповіді на контрольні запитання.	3
5	Дослідження властивостей рамкової антени Завдання на самостійну роботу: підготуватися до лабораторної роботи, використавши матеріал методичних рекомендацій та лекції 14; виконати експериментальну частину роботи; оформити звіт та підготувати відповіді на контрольні запитання.	3
6	Дослідження характеристик дипольної антени Завдання на самостійну роботу: підготуватися до лабораторної роботи, використавши матеріал методичних рекомендацій та лекцій 14, 15; виконати експериментальну частину роботи; оформити звіт та підготувати відповіді на контрольні запитання.	3

6. Самостійна робота студента

Студенти виконують завдання для самостійної роботи, які зазначені у п. 5, а також в методичних рекомендаціях до практичних та лабораторних занять відповідно до календарного графіку навчального процесу. Протягом семестру ними має бути виконана розрахунково-графічна робота (РГР). Приблизна тематика завдань РГР приведена у додатку п.9.

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Правила відвідування занять

Лабораторні заняття є обов'язковими до виконання завдання. У разі їх пропуску, має бути відпрацьовані за попередньою домовленістю з викладачем.

У разі пропуску лекцій або практичного заняття, студент має виконати передбачені завдання та пройти співбесіду з викладачем за матеріалами пропущеного заняття. Матеріали лекцій та практичних занять із завданнями розміщені на ресурсі Google classroom, доступ до якого студенти отримують на початку семестра.

Поточний контроль лекційного матеріалу

Контроль пройденого матеріалу лекцій здійснюється за допомогою усного опитування або тестування (за рішенням викладача). Час тестування визначається викладачем. Загальна кількість балів вказана у п.8.

Оцінювання завдань з практичних занять

Протягом семестру студенти мають виконувати завдання за темами практичних занять. Кількість завдань може встановлюється викладачем, а сума балів за всі завдання вказана у п.8.

Допуск до лабораторних занять та захист звіту про виконану роботу

Перед лабораторною роботою студенти проходять індивідуальну співбесіду з викладачем, відповідаючи на контрольні запитання та пояснюючи хід роботи. За результатами співбесіди приймається рішення про допуск до її виконання.

Студенти виконують роботи у складі бригад, складають протокол вимірювань (один на бригаду) і наприкінці заняття підписують його у викладача.

Кожен студент готує звіт про виконану роботу і захищає його індивідуально. Захист звіту проходить на наступному за розкладом лабораторному занятті. Оцінка, яку студент отримує за лабораторне заняття складається з балів, одержаних під час допуску да захисту і виставляється у поточну відомість після успішного захисту роботи.

Кількість балів вказана в рейтинговій системі оцінювання (п.8).

Якщо проведення лабораторного заняття неможливе через форс-мажорні обставини або студент пропустив його з поважної причини, робота виконується в призначений деканатом час або по його розпорядженню проводиться в он-лайн формі.

Якщо студент пропустив лабораторне заняття без поважної причини, то лабораторна робота та її захист виконується в залікову сесію.

Оцінювання розрахунково-графічної роботи

Оцінка за РГР має дві складові: за пояснювальну записку та за відповіді під час захисту.

Підсумкова оцінка оголошується під час захисту.

Захист РГР проходить на консультаціях за розкладом в останні два тижні семестру або, за попередньою домовленістю з викладачем, в інший час.

Перездачу РГР не передбачено.

Оцінювання модульної контрольної роботи (МКР)

МКР проводиться у вигляді тестування за пройденим матеріалом наприкінці семестру, але не пізніше 17 тижня. Час тестування визначається викладачем. Загальна кількість балів вказана у п.8.

Заохочувальні та штрафні бали і політика щодо академічної доброчесності

Найбільш активні студенти, зокрема ті, що виконують зразково, завдання за матеріалами занять, можуть отримати від 1 до 10 балів до семестрового рейтингу.

Штрафні бали застосовуються:

- якщо студент порушив вимоги до академічної доброчесності і видає результати чужої роботи за власні. У цьому разі він має виконати завдання повторно, причому загальна оцінка за роботу зменшується на 15%;
- якщо студент невчасно здав пояснювальну записку з РГР (п. 8);
- якщо студент невчасно здав та (або) захистив звіт про виконання лабораторної роботи (п. 8).

Політика дедлайнів і перескладень

Кінцевий термін здачі завдань з практичних занять та РГР встановлюється викладачем. У разі порушення терміну здачі без поважної причини оцінка за завдання зменшується на 1 бал, студенту призначається викладачем термін повторної здачі завдання. У випадку повторного порушення терміну здачі (без поважної причини), оцінка зменшується ще на 1 бал.

Кінцевий термін здачі іспиту та перескладень визначається розкладом, затвердженим деканом факультету

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

Рейтинг студента складається з балів (за 100-бальною шкалою), які він отримує за:

1. поточний контроль засвоєння лекційного матеріалу (у середньому 7 відповідей кожного студента);
2. відповіді на практичних заняттях (у середньому 7 відповідей кожного студента);
3. виконання та захист лабораторних робіт;
4. модульну контрольну роботу (МКР);
5. розрахунково-графічну роботу (РГР)
6. відповідь на екзамені.

Кількість балів та критерії оцінювання визначаються таким чином.

Система рейтингових (вагових) балів та критерії оцінювання

1. Контроль освоєння матеріалу лекцій
Максимальна кількість балів дорівнює: 8.

2. Робота на практичних заняттях

Максимальна кількість балів на всіх практичних заняттях дорівнює: 14.

3. Лабораторні роботи

Максимальна кількість балів за всі лабораторні роботи складає 15 балів.

4. Модульна контрольна робота (МКР)

Ваговий бал - 8.

5. Розрахунково-графічна робота (РГР)

Ваговий бал - 15.

6. Штрафні бали за:

- недопуск до лабораторної роботи у зв'язку з незадовільним вхідним контролем. -1 бал;

- відсутність на лекції, практичному або лабораторному занятті без поважної причини..... -1 бал;

- несвоєчасна здача ДКР та звітів з лабораторних робіт. -2 бали.

Розрахунок шкали (R) рейтингу за семестр

Розмір шкали R формується як сума вагових балів контрольних заходів (R_C) протягом семестру та вагового балу з екзамену (R_E): $R = R_C + R_E$.

Розмір стартової шкали..... $R_C = 60$ балів.

Розмір екзаменаційної шкали. $R_E = 40$ балів.

Розмір шкали рейтингу. $R = 100$ балів.

Розмір стартової шкали визначається сумою максимально можливих балів контрольних заходів (позиції 1-5), що здійснюються протягом семестру: $R_C = 8 + 14 + 15 + 8 + 15 = 60$ балів.

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)

Приблизна тематика завдань РГР

Імпеданс навантаження коаксіального кабелю на частоті складає (див. табл. 1).

1. Визначити:

1) вхідний опір неузгодженої лінії у вузлу та пучності;

2) параметри узгоджувального кола, яке складається з елементів зазначених у варіанті завдання (табл. 1);

3) амплітудно-частотну характеристику узгодженого навантаження.

2. Привести ескіз розрахованого узгоджувального кола.

3. Зробити висновки за результатами розрахунку та запропонувати рекомендації щодо технології виготовлення узгоджувального.

При виконанні завдання використовувати демоверсію програми *Smith v4.0* або інше програмне забезпечення за умови попереднього узгодження з викладачем.

Таблиця 1 — Варіанти завдань РГР

Варіант	Елементи узгодження	Кабель		f, ГГц	Z ₀ , Ом
		Тип	d, мм		
1	OS	РК 50-3-а90В	1,05	1,0	25+j25
2	SS	РК 50-3-а90В	1,05	1,5	30 - j25
3	L, C	РК 50-3-а90В	1,05	2,0	75+j30
4	L, C	РК 50-3-а90В	1,05	2,5	100 - j25
5	OS	РК 50-4,8-а90П	1,72	1,0	20 + j45
6	SS	РК 50-4,8-а90П	1,72	1,5	40 - j55
7	L, C	РК 50-4,8-а90П	1,72	2,0	60+ j25
8	L, C	РК 50-4,8-а90П	1,72	2,5	130 - j25
9	OS	РК 75-4,8-а60В(П)	1,12	1,0	45 + j60
10	SS	РК 75-4,8-а60В(П)	1,12	1,5	30 - j25
11	L, C	РК 75-4,8-а60В(П)	1,12	2,0	80 + j15

Примітки: OS - розімкнений шлейф; SS - коротко замкнений шлейф; L, C - зосереджена індуктивність та ємність

Опис матеріально-технічного та інформаційного забезпечення дисципліни

Практичні заняття, в яких передбачено застосування програмного забезпечення, проводяться в комп'ютерних класах (402-17, 404-17) на 18 робочих місць з інстальованими програмами. Комп'ютери з вимогами не нижче: 32-розрядний (x86) або 64-розрядний (x64) процесор із тактовою частотою 1 ГГц або швидший*; 1 гігабайт (ГБ) RAM (для 32-розрядної версії) або 2 ГБ (для 64-розрядної версії); 16 ГБ (для 32-розрядної версії) або 20 ГБ (для 64-розрядної версії) вільного місця на жорсткому диску; графічний пристрій із підтримкою DirectX 9 і драйвером WDDM 1.0 або новішим.

Програмне забезпечення:

– Smith V4.1 (умовно безплатне ПЗ, наявність

демо-версії): <https://www.fritz.dellsperger.net/smith.html>;

– Cadence AWR Design Environment (ліцензія РТФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського).

Для виконання завдань практичних занять розроблено методичні рекомендації, які розміщені в Google classroom.

Лабораторні заняття проводяться у навчальній лабораторії (301-17) з макетами для виконання робіт, зазначених у п. 5. Методичні рекомендації до робіт розміщені в Google classroom.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено [Перегулов С. М.](#);

Ухвалено кафедрою ПРЕ (протокол № 06/2025 від 25.06.2025)

Погоджено методичною комісією факультету/ННІ (протокол № 06/2025 від 26.06.2025)