Національний технічний університет України
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Кафедра
радіоінженерії

[RE-71] АНТЕННІ СИСТЕМИ



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	172Мн PCI - Радіосистемна інженерія (ЄДЕБО id: 31174)172Мп PCI - Радіосистемна інженерія (ЄДЕБО id: 6236)172Мп IKP - Інформаційна та комунікаційна радіоінженерія (ЄДЕБО id: 49260)172Мн IKP - Інформаційна та комунікаційна радіоінженерія (ЄДЕБО id: 49261)172мп IKPI+ - Інформаційна та комунікаційна радіоінженерія (ЄДЕБО id: 57911)G5Мп IKPI - Інформаційна та комунікаційна радіоінженерія (ЄДЕБО id: 83619)
Статус дисципліни	Нормативна
Форма здобуття вищої освіти	Очна
Рік підготовки, семестр	1 курс, осінній семестр
Обсяг дисципліни	5 кред. (Лекц. 54 год, Практ. 0 год, Лаб. 18 год, СРС. 78 год)
Семестровий контроль/контрольні заходи	Екзамен
Розклад занять	https://schedule.kpi.ua
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лекц.: Мартинюк С. Є., Лаб.: Мартинюк С. Є., СРС.: Мартинюк С. Є.
Розміщення курсу	https://do.ipo.kpi.ua/course/view.php?id=6915

Програма навчальної дисципліни

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

Кредитний модуль дисципліни «Антенні системи» відноситься до дисциплін циклу професійної і практичної підготовки. Дисципліна є підсумковою в рамках циклу підготовки студентів з антен та пристроїв мікрохвильової техніки, містить інформацію по принципам

побудови сучасних антенних систем. Знання та навички, отриманні під час вивчення дисципліни використовуються у подальшому як база для виконання дипломних і магістерських робіт, мають велике значення для подальшої практичної діяльності магістрів.

Мета та завдання кредитного модуля

2.1. Метою кредитного модулю є формування у студентів здатностей:

- розраховувати основні параметри антенних систем різних типів, в тому числі діаграми направленості антенних решіток в режимі сканування та складних багатодзеркальних антен;

- обирати найбільш ефективні антенні системи, виходячи із заданих вимог до радіотехнічних систем різного призначення;

- формулювати вимоги до елементів антенних систем різних типів. Основні завдання кредитного модуля

Згідно з вимогами програми навчальної дисципліни студенти після засвоєння кредитного модуля мають продемонструвати такі результати навчання:

знання:

- принципів побудови, конструкцій, принципів дії сучасних антенних систем, їх елементів та фізичних процесів, що в них відбуваються; увагу студентів сфокусовано насамперед на дводзеркальних антенних системах різного типу, планарних антенних решітках та скануючих антенних решітках різних типів, в тому числі багатоканальних.

- гранично-досяжних параметрів, застосування та обмеження антенних систем різних типів;

- методів розрахунків та вимірювання параметрів антенних систем; - методики експериментального дослідження характеристик антенних систем. уміння:

- провести попередні інженерні розрахунки основних параметрів антенних систем різних типів;

- вибрати найбільш ефективні типи антенних систем для радіотехнічних систем, які працюють в різних частотних діапазонах;

- правильно побудувати схему вимірювання характеристик антенних систем;

- провести експериментальне дослідження характеристик і параметрів антенних систем різних типів. досвід:

- інженерна обробка інформації стосовно антенних систем різних типів;

- експериментального дослідження характеристик антенних систем; - роботи з вимірювальною апаратурою НВЧ діапазону та дослідними зразками антенних систем різних типів

Після засвоєння навчальної дисципліни студенти мають продемонструвати такі програмні компетентності та результати навчання за освітньою програмою Інформаційна та комунікаційна радіоінженерія:

Програмні результати навчання:

ПРН 17 Грамотно обирати тип, проводити інженерні розрахунки та вимірювати характеристики сучасних антенних систем різного призначення. Знати конструкції, принципи побудови, переваги та недоліки основних типів сучасних антенних систем, а саме багаторефлекторних антен, скануючих цифрових антенних решіток, надширокосмугових

антен, антен мобільних терміналів

Фахові компетентності

ФК 7 Здатність демонструвати та застосовувати на практиці знання методів моделювання динамічних систем, оцінки ефективності радіотехнічних систем

ФК 15 Здатність використовувати типові та розробляти власні програмні продукти, орієнтовані на розв’язок задач проектування та розрахунку складових частин радіотехнічних систем для оптимізації досліджуваних об’єктів.

ФК 19 Здатність проєктувати та оптимізувати характеристики сучасних та перспективних антенних систем

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

Дисциплінами, які забезпечують курс "Антенні системи", є такі дисципліни як: “Вища математика”, “Електродинаміка та поширення радіохвиль”, “Пристрої НВЧ та антени” і відноситься до професійної та практичної підготовки магістрів.

3. Зміст навчальної дисципліни

Дисципліна “Антенні системи” охоплює сучасний рівень розвитку антен для нового покоління радіелектронних систем різноманітного призначення. Дисципліна “Антенні системи” зокрема охоплює дводзеркальні антени (Касегрена, Грегорі, АДЕ, АДГ, багатопроменеві, косчмічні тощо), класичні фазовані антенні решітки, активні фазовані антенні решітки, цифрові антенні решітки тощо.

Матеріал дисципліни повинен охоплювати наступні теми.

1. Складні дзеркальні антени.

1.1. Принцип дії та схеми дводзеркальних антен Касегрена та Грегори.

1.2. Аналіз та оптимізація антен Касегрена та Грегори.

1.3. Вісесиметричні дводзеркальні антени зі зміщеною віссю параболічної твірної.

1.4. Опромінювачі дводзеркальних антен.

1.5. Моноімпульсні опромінювачі.

1.6. Дводзеркальні антени зі зміною поляризації.

1.7. Скануючі сферичні дзеркальні антени.

1.8. Багатопроменеві дзеркальні антени. Сферичні дводзеркальні антени.

1.9. Циліндричні дзеркальні антени.

2. Скануючі лінзові антени.

2.1. Сферична лінза Люнеберга.

2.2. Циліндричні лінзи Люнеберга.

2.3. Двофокусні та багатофокусні лінзи.

3. Багатопроменеві антенні решітки.

3.1. Схеми з послідовним живленням - багатопроменеві матриці Бласа.

3.2. Променетвірна матриця з однаковим часом затримки в центральному промені: кутникова та кільцева матриці, двостороння кільцева матриця.

3.3. Променетвірна матриця Батлера. Матриці 4 випромінювачі - 4 промені, 8 випромінювачів - 8, 3, 2 - промені. Принцип побудови матриць Батлера.

3.4. Лінза Ротмана.

4. Мікросмужкові антенні решітки.

4.1. Схеми живлення мікросмужкових випромінювачів.

4.2. Способи розширення робочої смуги частот мікросмужкових випромінювачів. Дворезонаторні мікросмужкові антени.

4.3. Багаточастотні мікросмужкові випромінювачі як елементи терміналів сучасних телекомунікаційних систем.

4.4. Мікросмужкові антени колової поляризації для навігаційних систем.

4.5. Об’єднання мікросмужкових випромінювачів у складі антенних решіток.

5. Ультраширокосмугові антени.

6. Антенні решітки з частотним скануванням.

6.1. Теоретичні обґрунтування принципу частотного сканування.

6.2. Конструктивна реалізація антен з частотним скануванням.

6.3. Конструкції двомірних хвилевідно-щілинних антенних решіток.

7. Фазовані антенні решітки.

7.1. ФАР, як скануюча антена - теоретичні обґрунтування.

7.2. Класифікація ФАР по формі поверхні: лінійні, плоскі, дугові, циліндричні, конічні та інші.

7.3. Класифікація ФАР по способу живлення. Фідерні ФАР з послідовним, паралельним та комбінованим живленням. ФАР з оптичним живленням - прохідні та відбивні.

7.4. Фазування ФАР. Неперервний та дискретний принцип фазування. Форма фазового фронту при дискретному способі фазування: Мінімальний скачок променя. Вимоги до фазообертачів для ФАР в тому числі з дискретним принципом фазування.

7.5. Напівпровідникові та феритові фазообертачі на хвилеводних та смужкових лініях передачі.

7.6. Фазообертачі на основі мікроелектромеханічних структур.

7.7. Випромінювачі ФАР. Модульний принцип побудови ФАР.

7.8. Залежність ширини діаграми напрямленості ФАР від кута сканування та інших факторів.

7.9. Узгодження ФАР. Ефект “засліплення” в ФАР.

8. Активні фазовані антенні решітки (АФАР).

8.1. Принцип побудови передавальних АФАР.

8.2. Коєфіцієнт корисної дії і загальні параметри передавальних АФАР.

8.3. Принцип побудови і параметри приймальних АФАР. Адаптивні ФАР.

9. Цифрові антенні решітки (ЦАР)

9.1. Поняття про ЦАР або SMART антени.

9.2. Принцип побудови і параметри приймальних ЦАР. Адаптивні ЦАР.

9.3. Алгоритми визначення джерел випромінювання приймальних ЦАР.

9.4. Алгоритми променеутворення передавальних ЦАР.

9.5. Проблеми та перспективи розвитку цифрових адаптивних антенних систем.

10. Сучасна технологія вимірювання параметрів випромінюючих систем.

10.1. Визначення параметрів антенних систем.

10.2. Вимірювання діаграми спрямованості антен на відкритому повітрі у далекій зоні. Методи боротьби із сигналами, перевідбитими від перешкод.

10.3. Вимірювання діаграми спрямованості антен у безлунній камері. Вимірювання діаграми спрямованості по ближньому полю антени. Вимірювання за допомогою коліматорів.

10.4. Вимірювання кросполяризаційної діаграми спрямованості.

10.5. Особливості вимірювання коефіцієнту підсилення, коефіцієнту корисної дії та параметрів відбиття випромінювачів.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова рекомендована література

1. Ільницький Л.Я., Савченко О.Я., Сібрук Л.В. «Антени та пристрої надвисоких частот»: Підручник для ВНЗ/ За ред. Л.Я. Ільницького. – К: Укртелеком, 2003. – 496с.

2. Ільницький Л.Я., Сібрук Л.В., Слободянюк П.В., Благодарний В.Г. «Антени телекомунікаційних та моніторингових систем», За ред Л.Я. Ільницького. – К., 2012. – 240 с.

3. Антенні системи: Лабораторний практикум [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка» / С. Є. Мартинюк, С. І. Пільтяй, О. Ю. Сушко; КПІ ім. Ігоря Сікорського. — Електронні текстові дані (1 файл 1,83 Мбайт). — Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. — 30 с.

4. Мікросмужкові антени із коловою поляризацією [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка» / С. Є. Мартинюк; КПІ ім. Ігоря Сікорського. — Електронні текстові дані (1 файл 6 Мбайт). — Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. — 80 с.

Допоміжна рекомендована література

1. Balanis C. Antenna theory: Analysis and Design. Fourth Edition – Wiley, 2016.–1104p (Eng).

2. Mailloux R.J. Phased Array Antenna Handbook. 3rd Ed (Antennas and Electromagnetics) – Artech

House, –2017,– 550p.

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Лекційні заняття

4. Лекційні заняття

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)
1	Тема 10.1. Визначення та взаємозв’язок параметрів антенних систем. Ч.1. Завдання на СРС: Повторити матеріал лекції.
2	Тема. 10.1. Визначення та взаємозв’язок параметрів антенних систем. Ч.2. Завдання на СРС: Повторити матеріал лекції.
3	Тема 1.1. Принцип дії та схеми дводзеркальних антен Касегрена та Грегорі. Завдання на СРС: Повторити матеріал лекції
4	Тема 1.2. Аналіз та оптимізація антен Касегрена та Грегорі. Завдання на СРС: Повторити матеріал лекції
5	Тема 1.3. Вісесиметричні дводзеркальні антени зі зміщеною віссю параболічної твірної. Тема 1.4. Космічні дзеркальні антени. Завдання на СРС: Повторити матеріал лекції. Проглянути розгортання космічних антен
6	Тема 1.5. Опромінювачі дводзеркальних антен.
7	Тема 1.7. Багатопроменеві та спеціальні дзеркальні антени. Сферичні дводзеркальні антени. Дзеркальні антени із зміною поляризації
8	Тема 1.6. Моноімпульсні опромінювачі дзеркальних антен. Розрахунок структурних схем моноімпульсних опромінювачів.
9	Тема 4.1. Принцип дії та схеми живлення мікросмужкових випромінювачів Тема 4.2. Способи розширення робочої смуги частот мікросмужкових випромінювачів. Дворезонаторні мікросмужкові антени. Завдання на СРС: Повторити матеріал лекції
10	Тема 4.3. Багаточастотні мікросмужкові випромінювачі як елементи терміналів сучасних телекомунікаційних систем. Тема 4.4. Мікросмужкові антени колової поляризації для навігаційних систем. Завдання на СРС: Повторити матеріал лекції
11	Тема 4.5. Об’єднання мікросмужкових випромінювачів у складі антенних решіток. Завдання на СРС: Повторити матеріал лекції.
12	Тема 5 Ультраширокосмугові антени Завдання на СРС: Повторити матеріал лекції.
13	Тема 6.1. Теоретичні обґрунтування принципу частотного сканування. Тема 6.2. Конструктивна реалізація антен з частотним скануванням. Завдання на СРС: Повторити матеріал лекції.
14.	Тема 6.3. Конструкції двомірних хвилевідно-щілинних антенних решіток. Завдання на СРС: Повторити матеріал лекції.
15	Тема 7.1. ФАР, як скануюча антена - теоретичні обґрунтування. . Класифікація ФАР по формі поверхні: лінійні, плоскі, дугові, циліндричні, конічні та інші. Множник решітки (визначення та наслідки). Завдання на СРС: Повторити матеріал лекції.
16	Тема 7.2. Класифікація ФАР по способу живлення. Фідерні ФАР з послідовним, паралельним та комбінованим живленням. ФАР з оптичним живленням - прохідні та відбивні. Завдання на СРС: Повторити матеріал лекції

17	**Тема 7.3. Фазування ФАР. Неперервний та дискретний принцип фазування. Форма фазового фронту при дискретному способі фазування: Мінімальний скачок променя. Вимоги до фазообертачів для ФАР в тому числі з дискретним принципом фазування.** **Завдання на СРС: Повторити матеріал лекції та матеріал по феритовим і напівпровідниковим фазообертачам з дисципліни "Пристрої НВЧ"**
18	**Тема 8.1 Енергетика ФАР.** **Тема 8.2 Принцип побудови, структурні схеми і параметри передавальних та приймальних АФАР.** **Завдання на СРС: Повторити матеріал лекції**
19	**Тема 8.3. Приймально-передавальні модулі АФАР радарів** **Завдання на СРС: Повторити матеріал лекції**
20	**Тема 3.1. Схеми з послідовним живленням - багатопроменеві матриці Бласса** **Тема 3.2. Променетвірна матриця Батлера та лінза Ротмана** **Розрахунок параметрів променів багатопроменевих діаграмоутворюючих схем АР.** **Завдання на СРС: Повторити матеріал лекції**
21.	**10.2. Вимірювання діаграми спрямованості антен на відкритому повітрі у далекій зоні. Методи боротьби із сигналами, перевідбитими від перешкод.** **10.3. Вимірювання діаграми спрямованості антен у безлунній камері.** **Завдання на СРС: Повторити матеріал лекції**
22	**Тема 10.3.Вимірювання діаграми спрямованості по ближньому полю антени. Вимірювання за допомогою коліматорів.** **Тема 10.4. Вимірювання кросполяризаційної діаграми спрямованості.** **Завдання на СРС: Повторити матеріал лекції**
23.	**Тема 10.5. Особливості та техніка вимірювання коефіцієнту підсилення, коефіцієнту корисної дії та параметрів відбиття випромінювачів.**
24	**Тема 9.1. Поняття про ЦАР. Принцип побудови, структурні схеми і параметри передавальних ЦАР.**
25	**Тема 9.2 Принцип побудови, структурні схеми і параметри приймальних ЦАР.**
26	**Тема 9.3. Алгоритми визначення напрямку приходу сигналу в ЦАР**
27	**Тема 9.4. Алгоритми цифрового променеутворення (діаграмоутворення) і цифрового розділення сигналів в ЦАР.**

Основною метою лабораторних робіт є набуття студентами досвіду та навиків практичної роботи з апаратурою НВЧ діапазону, вміння провести експериментальні дослідження характеристик та параметрів антенних систем. Провести оброблення результатів досліджень та зробити висновки. Крім того, лабораторні роботи дозволяють викладачу здійснити контроль самостійної роботи студентів впродовж семестру.

№ з/п	Назва теми заняття та перелік основних питань	Кількість ауд. годин
1	Тема: Дослідження скануючої лінзової антени (лінзи Люнеберга) Мета роботи: Дослідження принципів побудови та вимірювання характеристик лінзи Люнеберга.	4
2	Тема: Дзеркальні антени, які формують спеціальні діаграми спрямованості. Мета роботи: дослідження принципів побудови та вимірювання характеристик складних дзеркальних антен із косекансною діаграмою направленості.	4
3	Тема: Дослідження антен з частотним скануванням. Мета роботи: дослідження принципів побудови та вимірювання характеристик хвилевідно-щілинної антенної решітки із частотним скануванням.	4

4	Тема: Дослідження мікросмужкових антенних решіток Дослідження принципів побудови та вимірювання характеристик мікросмужкової антенної решітки	6

Лабораторні роботи методично забезпечені методичними вказівками.

6. Самостійна робота здобувача

Студент повинен завчасно готуватись до лекцій та лабораторних робіт. Перед лекціями необхідно повторити теоретичний матеріал, наданий у попередніх лекціях. Перед лабораторними роботами необхідно опанувати відповідні теми по теорії антенних систем.

Обов’язковим є виконання домашніх завдань. Виконання та ревізія виконаних домашніх завдань також необхідні для підготовки до самостійних та модульних контрольних робіт.

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Відвідування занять

Відвідування лекцій та лабораторних робіт є обов’язковим згідно Положення про організацію освітнього процесу КПІ ім. Ігоря Сікорського. У разі хвороби студент зобов’язаний представляти довідку про термін проходження лікування, оформлену належним чином, з установи, де проходило лікування. У інших випадках (наприклад, сімейні обставини) питання вирішується в індивідуальному порядку з викладачем. Матеріал занять, які були з тих чи інших причин пропущені, необхідно опановувати самостійно.

У будь-якому випадку студентам рекомендується відвідувати усі види занять, оскільки на них викладається теоретичний матеріал та розвиваються навички, необхідні для виконання домашніх завдань, контрольних та розрахункових робіт. Система оцінювання орієнтована на отримання балів за активність студента, а також виконання завдань, які здатні розвинути практичні уміння та навички.

Пропущені контрольні заходи

Результат самостійної або модульної контрольної роботи для студента, який не з’явився на контрольний захід, є нульовим. Якщо пропуск стався без поважної причини, студент має можливість написати контрольний захід, але максимальний бал за нього буде дорівнювати 50% від загальної кількості балів. У разі, якщо пропуск стався з поважних причин (наприклад, хвороби), підтверджених відповідними документами, студент має можливість написати контрольний захід в інший узгоджений з викладачем термін без зниження оцінки. Повторне написання модульної контрольної роботи не допускається.

Пропущений екзамен не зараховується незалежно від причин пропуску; у такому випадку студент отримує запис у відомості «не з’явився» та повинен складати екзамен на додатковій сесії.

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

Рейтинг студента з дисципліни (РД) формується як сума балів поточної успішності навчання - стартового рейтингу (РС) та балів за екзамен (Ре):

$$РД = РС + Ре.$$

Розмір стартової шкали РС = 60 балів.

Розмір екзаменаційної шкали Ре = 40 балів.

Розмір шкали рейтингу з дисципліни РД = 100 балів.

РС складається з балів, одержаних за виконання лабораторних робіт, що надають такі рейтингові бали:

оформлення звіту відповідно до вимог	- 2;
оформлення звіту з порушеннями	- 0;
повна відповідь під час захисту ЛР	8
на наступному лабораторному занятті	- 4;
неповна відповідь або несвоєчасний захист ЛР	- 2;
відповідь з істотними помилками	- 1;
незадовільна відповідь	- 0.
Максимальна сумма балу за одну ЛР	-10
Максимальна сума балів за чотири ЛР	- 40.
Максимальна оцінка за МКР	20

Умови допуску до екзамену:

- виконання та захист усіх лабораторних робіт;

- успішне виконання модульної контрольної роботи

Протягом останнього тижня семестру студентам, що не набрали 30 балів надається можливість підвищення РС шляхом розв’язання додаткових контрольних завдань.

Критерії екзаменаційного оцінювання:

Набутий протягом семестру РС додається до екзаменаційних балів Ре (максимум 40 балів). Шкала переведення рейтингових оцінок в ESTS та традиційні оцінки є загальноприйнятою.

1. **Модульна контрольна робота.**

– повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) — 10 балів;

– достатньо повна відповідь (не менше 75%) — 5 балів;

– неповна відповідь (більше 60%) — 4 бали;

– незадовільна відповідь — 0 балів.

Заохочувальні бали:

– правильні відповіді на усні питання викладача на лекційних заняттях — до 3 балів;

– допомога в розробленні інтерактивних курсів — до 10 балів.

Студент не може отримати більше 6 заохочувальних балів!

Максимальна сума балів складає 100. Захист всіх лабораторних робіт та позитивний результат за модульні контрольні роботи є обов’язковою умовою допуску до екзамену!

2. Екзаменаційна контрольна робота

Контрольна робота складається з трьох теоретичних питань, кожне з яких оцінюється в 10 балів та практичного питання (задачі), яке оцінюється в 10 балів.

Теоретичне питання та задача:

– повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) — 10 балів;

– достатньо повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації або незначні неточності) — 8 балів;

– неповна відповідь (не менше 60% та деякі помилки) — 6 бали;

– незадовільна відповідь — 0 балів.

Сума балів переводиться в оцінку згідно з таблицею:

Семестрові або залікові бали	**Залікова оцінка**
95–100	Відмінно
85–94	дуже добре
75–84	Добре
65–74	Задовільно
60–64	Достатньо
менше 60	незадовільно
Не захищено всі лабораторні роботи або відсутня позитивна оцінка за модульні контрольні роботи	не допущено

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)

Матеріал дисципліни студенти денної форми навчання освоюють на лекціях, лабораторних роботах, а також при самостійному вивченні навчального матеріалу.

Поточний контроль рівня засвоєння навчального матеріалу здійснюється шляхом опитування та співбесід на лабораторних заняттях, а також при модульному контролі шляхом виконання контрольних робіт.

Підсумковий контроль засвоєння навчального матеріалу дисципліни здійснюється на екзамені.

Опис матеріально-технічного та інформаційного забезпечення дисципліни

Курс забезпечений повним циклом із 4-х лабораторних робіт, що проводяться на базі антенної лабораторії, а саме:

1. Дослідження антени з лінзою Люнеберга
2. Дослідження антени з косекансною діаграмою спрямованості
3. Дослідження антени із частотним скануванням
4. Дослідження смужкових антен

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):
Складено Мартинюк С. Є.;
Ухвалено кафедрою РІ (протокол № 06/2023 від 23.06.2023)
Погоджено методичною комісією факультету/ННІ (протокол № 06-2023 від 29.06.2023)