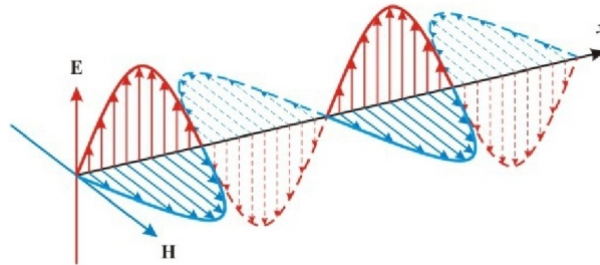




# [RE-110] ЕЛЕКТРОДИНАМІКА ТА ПОШИРЕННЯ РАДІОХВИЛЬ



## Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

### Реквізити навчальної дисципліни

|   |   |
|---|---|
| Рівень вищої освіти                         | Перший (бакалаврський)  |
| Галузь знань                                | -   |
| Спеціальність                               |   |
| Освітня програма                            | 172Б РТС - Радіотехнічні інформаційні технології (ЄДЕБО id: 6842)172Б РОС - Радіозв'язок і оброблення сигналів (ЄДЕБО id: 6364)172Б РСІ - Радіосистемна інженерія (ЄДЕБО id: 7350)172Б ІТР - Інтелектуальні технології радіоелектронної техніки (ЄДЕБО id: 49229)172Б ІТМР - Інтелектуальні технології мікросистемної радіоелектронної техніки (ЄДЕБО id: 5627)172Б ІКР - Інформаційна та комунікаційна радіоінженерія (ЄДЕБО id: 49228)172Б РКС - Радіотехнічні комп'ютеризовані системи (ЄДЕБО id: 49227)172Б ІТР+ - Інтелектуальні технології радіоелектронної техніки (ЄДЕБО id: 57907)172Б ІКР+ - Інформаційна та комунікаційна радіоінженерія (ЄДЕБО id: 57910)172Б РКС+ - Радіотехнічні комп'ютеризовані системи (ЄДЕБО id: 57920) |
| Статус дисципліни                           | Нормативна  |
| Форма здобуття вищої освіти                 | Очна  |
| Рік підготовки, семестр                     | 2 курс, осінній семестр   |
| Обсяг дисципліни                            | 7.5 кред. (Лекц. 54 год, Практик. 36 год, Лаб. 36 год, СРС. 99 год )  |
| Семестровий контроль/контрольні заходи      | Екзамен   |
| Розклад занять                              | <a href="https://rozklad.kpi.ua">https://rozklad.kpi.ua</a>   |
| Мова викладання                             | Українська / Англійська   |
| Інформація про керівника курсу / викладачів | Лекц.: <a href="#">Пільтяй С. І.</a> ,<br>Практ.: <a href="#">Пільтяй С. І.</a> ,<br>Лаб.: <a href="#">Пільтяй С. І.</a> ,<br>СРС.: <a href="#">Пільтяй С. І.</a>   |
| Розміщення курсу                            | <a href="https://do.ipu.kpi.ua/course/view.php?id=642">https://do.ipu.kpi.ua/course/view.php?id=642</a>   |

## Програма навчальної дисципліни

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

Навчальна дисципліна «**Електродинаміка та поширення радіохвиль**» присвячена вивченню основних властивостей електромагнітного поля, набуття студентами конкретних знань про поширення електромагнітних хвиль. Студенти навчаються визначати основні характеристики електромагнітних хвиль; формувати електромагнітні хвилі з різними видами поляризації; вимірювати поляризаційні діаграми і визначати за ними поляризацію хвиль; розв'язувати крайові задачі електродинаміки; розраховувати і вимірювати параметри ліній передачі і резонаторів; вимірювати розподіли полів у лініях передачі та резонаторах.

Після засвоєння навчальної дисципліни «Електродинаміка та поширення радіохвиль» студенти мають продемонструвати такі результати навчання:

#### Загальні компетентності:

ЗК 02: Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях;

ЗК 04: Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності;

ЗК07: Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями;

ЗК 08: Вміння виявляти, ставити та вирішувати проблеми;

#### Фахові компетентності:

ФК 3 Здатність використовувати базові методи, способи та засоби отримання, передавання, обробки та зберігання інформації.

ФК 4 Здатність здійснювати комп'ютерне моделювання пристроїв, систем і процесів з використанням універсальних пакетів прикладних програм.

ФК 6 Здатність проводити інструментальні вимірювання в інформаційно-телекомунікаційних мережах, телекомунікаційних та радіотехнічних системах.

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

#### Програмні результати навчання:

ПРН 1 Аналізувати, аргументувати, приймати рішення при розв'язанні спеціалізованих задач та практичних проблем телекомунікацій та радіотехніки, які характеризуються комплексністю та неповною визначеністю умов

ПРН 7 Грамотно застосовувати термінологію галузі телекомунікацій та радіотехніки;

ПРН 8 Описувати принципи та процедури, що використовуються в телекомунікаційних системах, інформаційно-телекомунікаційних мережах та радіотехніці;

ПРН 13 Застосовування фундаментальних і прикладних наук для аналізу та розробки процесів, що відбуваються в телекомунікаційних та радіотехнічних системах;

ПРН 18 Знаходити, оцінювати і використовувати інформацію з різних джерел, необхідну для розв'язання професійних завдань, включаючи відтворення інформації через електронний пошук.

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

Дисципліна «**Електродинаміка та поширення радіохвиль**» ґрунтується на знаннях, набутих студентами після вивчення дисциплін «Вища математика», «Загальна фізика», «Основи теорії кіл». Студенти повинні володіти основами векторного аналізу, електростатики, електродинаміки, теорії коливальних і хвильових процесів, теорією довгих ліній.

Отримані знання та навички після вивчення дисципліни «Електродинаміка та поширення радіохвиль» використовуються надалі в дисциплінах «Пристрої надвисоких частот та антени», «Електронні та квантові пристрої надвисоких частот», «Електромагнітна сумісність радіоелектронних систем», «Антенні системи», «Гібридні та монолітні інтегральні пристрої мікрохвильового діапазону», «Супутникові інформаційні системи», при виконанні курсових та дипломних робіт.

## 3. Зміст навчальної дисципліни

| Назви розділів і тем   | Кількість годин |              |                   |                    |     |
|--|-----------------|--------------|-------------------|--------------------|-----|
|  | Всього          | У тому числі |                   |                    |     |
|  |                 | Лекції       | Практичні заняття | Лабораторні роботи | СРС |
| <b>Розділ 1. Основи електродинаміки</b>  |                 |              |                   |                    |     |
| Тема. 1. Об'єкт вивчення і області застосування електродинаміки                  | 3               | 2            |                   |                    | 1   |
| Тема. 2. Векторний аналіз  | 7               | 2            | 4                 |                    | 1   |
| Тема. 3. Основні поняття електродинаміки. Рівняння Максвелла                     | 6               | 2            | 2                 |                    | 2   |
| Тема. 4. Матеріальні рівняння. Класифікація середовищ                            | 4               | 2            |                   |                    | 2   |
| Тема. 5. Граничні умови на межі поділу середовищ                                 | 3               | 2            |                   |                    | 1   |
| Тема. 6. Рівняння електродинаміки в комплексній формі                            | 3               | 2            |                   |                    | 1   |
| Тема. 7. Енергетичні характеристики електромагнітного поля                       | 3               | 2            |                   |                    | 1   |
| Тема. 8. Основні теореми і принципи електродинаміки                              | 3               | 2            |                   |                    | 1   |
| Тема. 9. Аналітичні методи розв'язку задач електродинаміки                       | 6               | 4            |                   |                    | 2   |
| Тема. 10. Статичні та стаціонарні електромагнітні поля                           | 8               | 2            | 4                 |                    | 2   |
| Разом за розділом 1  | 46              | 22           | 10                |                    | 14  |
| <b>Розділ 2. Поширення, відбиття і заломлення плоских електромагнітних хвиль</b> |                 |              |                   |                    |     |
| Тема 1. Плоскі електромагнітні хвилі   | 20              | 4            | 8                 | 6                  | 2   |
| Тема 2. Відбиття і заломлення плоских електромагнітних хвиль                     | 16              | 4            | 4                 | 6                  | 2   |
| Тема 3. Електромагнітні хвилі в анізотропних середовищах                         | 10              | 2            |                   | 6                  | 2   |
| МКР 1  | 2               |              |                   |                    | 2   |
| Розрахункова робота, ч. 1, 2   | 6               |              |                   |                    | 6   |
| Разом за розділом 2  | 54              | 10           | 12                | 18                 | 14  |
| <b>Розділ 3. Лінії передачі</b>  |                 |              |                   |                    |     |

|   |            |           |           |           |           |
|---|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Тема 1. Електромагнітні хвилі у спрямовуючих системах               | 4          | 2         |           |           | 2         |
| Тема 2. Хвилеводи   | 15         | 4         | 6         | 3         | 2         |
| Тема 3. Лінії передачі з хвилями типу Т                             | 11         | 2         | 4         | 3         | 2         |
| Тема 4. Відкриті лінії передачі                                     | 4          | 2         |           |           | 2         |
| МКР 2   | 2          |           |           |           | 2         |
| Розрахункова робота, ч. 3   | 2          |           |           |           | 2         |
| Разом за розділом 3   | 38         | 10        | 10        | 6         | 12        |
| <b>Розділ 4. Резонатори</b>   |            |           |           |           |           |
| Тема 1. Об'ємні резонатори  | 14         | 2         | 2         | 6         | 4         |
| Тема 2. Резонатори відкритого типу                                  | 6          | 2         |           |           | 4         |
| Тема 2. Способи збудження хвилеводів і резонаторів                  | 7          | 2         |           |           | 5         |
| Розрахункова робота, ч. 4   | 2          |           |           |           | 2         |
| Разом за розділом 4   | 29         | 6         | 2         | 6         | 15        |
| <b>Розділ 5. Випромінювання та дифракція електромагнітних хвиль</b> |            |           |           |           |           |
| Тема 1. Основні параметри антен. Диполь Герца                       | 8          | 2         | 1         |           | 5         |
| Тема 2. Елементарні магнітні випромінювачі. Елемент Гюйгенса        | 8          | 2         | 1         |           | 5         |
| Тема 3. Дифракція електромагнітних хвиль                            | 12         | 2         |           | 6         | 4         |
| Разом за розділом 5   | 28         | 6         | 2         | 6         | 14        |
| Екзамен   | 30         |           |           |           | 30        |
| <b>Усього годин</b>   | <b>225</b> | <b>54</b> | <b>36</b> | <b>36</b> | <b>99</b> |

#### 4. Навчальні матеріали та ресурси

##### Рекомендована література

1. Електродинаміка та поширення радіохвиль. Ч. 1. Основи теорії електромагнітного поля: Підручник для студентів ВНЗ / За заг. ред. В. М. Шокало та В. І. Правди. — Харків: ХНУРЕ; Колегіум, 2009. — 286 с.
2. Електродинаміка та поширення радіохвиль. Ч. 2. Випромінювання та поширення електромагнітних хвиль: Підручник для студентів ВНЗ / За заг. ред. В. М. Шокало та В. І. Правди. — Харків: ХНУРЕ; Колегіум, 2010. — 435 с.
3. Найденко В. І. Конспект лекцій із курсу «Електродинаміка та поширення радіохвиль». 2021. 692 с.
4. Прикладна електродинаміка інформаційних систем / А. С. Андрущак, З. Ю. Готра, О. С. Кушнір. — Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2012. — 304 с.
5. Електродинаміка та поширення радіохвиль. Збірник задач: навчальний посібник для студентів, які навчаються за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка» / С. І. Пільтяй; Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. — 88 с.
6. Електродинаміка та поширення радіохвиль. Методичні вказівки та завдання розрахунково-графічної роботи: навчальний посібник для студентів спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка» / О. М. Купрій, В. І. Найденко; Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. — 25 с.
7. Електродинаміка та поширення радіохвиль. Практикум: навчальний посібник для студентів спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка» / С. І. Пільтяй; Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. — 54 с.
8. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Електродинаміка та поширення радіохвиль». Укладачі В. С. Вунтесмері, О. М. Купрій, А. Ф. Левіна. Видання 2-ге, виправлене та доповнене. — Київ, 2011. — 68 с.
9. Технічна електродинаміка. Конспект лекцій / Укл. В.В. Пілінський, П.В. Попович. — К.: Національний Технічний Університет України «КПІ», 2006. — 224 с.
10. Захарія Й. А. Методи прикладної електродинаміки. — Львів: «Бескид Біт», 2003. — 352 с.

## Навчальний контент

### 5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

#### Лекційні заняття

| № з/п | Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)   |
|-------|--|
| 1     | Об'єкт вивчення і області застосування електродинаміки. Форми існування матерії. Властивості електромагнітного поля. Діапазон надвисоких частот. Особливості електромагнітних полів і хвиль у НВЧ діапазоні. Основні переваги НВЧ діапазону над іншими діапазонами частот. Галузі науки та техніки, де застосовують системи НВЧ діапазону. Література [1-6], [9].<br>Завдання на СРС: Ознайомитись із галузями застосування електродинаміки.   |
| 2     | Векторний аналіз. Скалярні та векторні поля. Градієнт скалярного поля. Коефіцієнти Ламе. Дивергенція векторного поля. Ротор поля. Теорема Остроградського-Гаусса. Теорема Стокса. Оператор Гамільтона. Оператор Лапласа. Теореми Гріна. Вихрове поле. Потенціальне поле. Основні тотожності векторного аналізу. Література [1-7], [9].<br>Завдання на СРС: Довести основні тотожності векторного аналізу.  |
| 3     | Основні поняття електродинаміки. Рівняння Максвелла. Поняття електричного заряду і струму, їх щільностей. Основні властивості та закони для електричних зарядів і струмів. Електричне і магнітне поля. Рівняння Максвелла в інтегральній і диференціальній формах. Фізичний зміст рівнянь Максвелла. Висновки з рівнянь Максвелла. Література [1-6], [9].<br>Завдання на СРС: Вивести рівняння Максвелла в диференціальній формі.  |
| 4     | Матеріальні рівняння. Класифікація середовищ. Поляризованість речовини. Вектор електричної індукції. Намагніченість речовини. Магнітна індукція середовища. Закон Ома в диференціальній формі. Матеріальні рівняння. Поділ речовин на провідники, напівпровідники та діелектрики. Класифікація середовищ за їх параметрами. Література [1-6], [9].<br>Завдання на СРС: Вивести матеріальні рівняння для гіротропних середовищ.   |
| 5     | Граничні умови на межі поділу середовищ. Граничні умови для нормальних складових електромагнітного поля. Граничні умови для тангенціальних складових електромагнітного поля. Граничні умови на межі поділу ідеальних діелектрика та провідника. Література [1-6], [9].<br>Завдання на СРС: Отримати граничні умови на провідних вістрях і ребрах.  |
| 6     | Рівняння електродинаміки в комплексній формі. Особливості гармонічних електромагнітних коливань і хвиль. Метод комплексних амплітуд. Рівняння Максвелла в комплексній формі. Комплексні проникності. Матеріальні рівняння в комплексній формі. Тангенс кутів електричних і магнітних втрат середовищ. Література [1-6], [9].<br>Завдання на СРС: Записати і вивести співвідношення Крамерса-Кроніга.   |
| 7     | Енергетичні характеристики електромагнітного поля. Рівняння балансу миттєвих значень потужності. Теорема Пойнтинга в диференціальній формі. Вектор Пойнтинга, його фізичний зміст. Теорема Пойнтинга в інтегральній формі. Енергетичні характеристики гармонічних електромагнітних полів. Теорема Пойнтинга в комплексній формі. Рівняння балансу комплексної потужності. Рівняння балансу активної і реактивної потужностей. Висновки з рівняння балансу комплексної потужності. Література [1-6], [9].<br>Завдання на СРС: Вивести рівняння балансу активної і реактивної потужностей. |
| 8     | Основні теореми і принципи електродинаміки. Класифікація задач електродинаміки. Задача Діріхле. Задача Неймана. Змішана крайова задача. Принцип суперпозиції. Теорема єдиності розв'язку внутрішньої задачі електродинаміки. Теорема єдиності розв'язку зовнішньої задачі електродинаміки. Умови Зоммерфельда. Лема Лоренца. Теорема взаємності. Принцип переставної двоїстості рівнянь Максвелла. Література [1-6].<br>Завдання на СРС: Отримати умови випромінювання Зоммерфельда.   |

|    |  |
|----|--|
| 9  | Аналітичні методи розв'язку задач електродинаміки. Хвильові рівняння для електричного і магнітного полів. Рівняння Гельмгольца для електричного і магнітного полів. Методи розв'язку рівнянь Гельмгольца. Література [1-6].<br>Завдання на СРС: Рівняння Гельмгольца в основних системах координат.  |
| 10 | Аналітичні методи розв'язку задач електродинаміки. Електродинамічні потенціали і вектори Герца. Рівняння Гельмгольца для потенціалів і векторів Герца. Вирази для розрахунку потенціалів. Література [1-6].<br>Завдання на СРС: Вивести формулу для розрахунку векторного потенціалу.  |
| 11 | Статичні та стаціонарні електромагнітні поля. Визначення статичних і стаціонарних полів. Рівняння Максвелла для електростатичних і магнітостатичних полів. Ємності тіл і конденсаторів. Рівняння Максвелла для стаціонарних полів. Індуктивності контурів зі струмом і котушок. Методи розрахунку ємностей та індуктивностей. Література [1-6], [9].<br>Завдання на СРС: Метод дзеркальних зображень. Взаємна індуктивність.   |
| 12 | Плоскі електромагнітні хвилі. Визначення хвилі. Фронт хвилі. Типи хвиль. Однорідна плоска електромагнітна хвиля. Параметри хвилі. Довжина хвилі. Коефіцієнт фази. Коефіцієнт загасання. Глибина проникнення хвилі. Фазова швидкість. Дисперсія хвиль. Групова швидкість. Характеристичний опір середовища. Граничні умови Щукіна-Леонтовича. Література [1-7], [9].<br>Завдання на СРС: Отримати формули для коефіцієнтів загасання і фази.  |
| 13 | Плоскі електромагнітні хвилі. Поляризація хвиль. Види поляризації. Поляризаційні базиси. Коефіцієнт еліптичності. Вектор Пойнтинга плоских електромагнітних хвиль. Швидкість поширення енергії. Література [1-7].<br>Завдання на СРС: Коефіцієнт еліптичності в різних поляризаційних базисах.   |
| 14 | Відбиття і заломлення плоских електромагнітних хвиль. Нормальне падіння електромагнітної хвилі на межу поділу ідеальних діелектрика та провідника. Нормальне падіння електромагнітної хвилі на межу поділу двох ідеальних діелектриків. Коефіцієнти відбиття та проходження. Похиле падіння плоскої хвилі на межу поділу ідеальних діелектрика та провідника. Фазова швидкість і довжина хвилі за вибраним напрямком. Література [1-7], [9].<br>Завдання на СРС: Повторити матеріал лекції з використанням літератури. |
| 15 | Відбиття і заломлення плоских електромагнітних хвиль. Похиле падіння плоскої електромагнітної хвилі на границю поділу. Площина падіння хвилі на поверхню. Паралельна і перпендикулярна поляризації. Закони Снелла. Коефіцієнт відбиття. Коефіцієнт проходження. Формули Френеля. Повне проходження хвилі. Кут Брюстера. Зміна поляризації хвилі. Повне внутрішнє відбиття хвилі. Діелектричний хвилевід. Література [1-7], [9].<br>Завдання на СРС: Повторити матеріал лекції за допомогою літератури.                 |
| 16 | Електромагнітні хвилі в анізотропних середовищах. Анізотропні середовища. Фізичний механізм виникнення анізотропії феритів. Рівняння Максвелла в гіротропному середовищі. Поширення електромагнітних хвиль у гіротропному середовищі. Ефект Фарадея. Застосування ефекту Фарадея в техніці. Ефект Коттона-Мутона. Явище феромагнітного резонансу. Застосування феромагнітного резонансу. Література [1-7], [9].<br>Завдання на СРС: Повторити матеріал лекції з використанням літератури.                              |
| 17 | Електромагнітні хвилі у спрямовуючих системах. Класифікація ліній передачі. Поширення електромагнітних хвиль між двома провідними площинами. Хвилі типу E і H. Скалярні рівняння Гельмгольца для ліній передачі та їх розв'язок. Загальні властивості хвиль у лініях передачі. Потужність і загасання хвиль у спрямовуючих системах. Ортогональність хвиль у лінії передачі. Література [1-7], [9].<br>Завдання на СРС: Повторити матеріал лекції за допомогою літератури.   |
| 18 | Хвильоводи. Визначення хвильоводу. Види хвильоводів. Типи хвиль у хвильоводах. Прямокутний хвилевід. Критичні частоти. Поля в прямокутному хвильоводі, структура поверхневих струмів на його стінках. Основна хвиля прямокутного хвильоводу, її параметри. Література [1-7], [9].<br>Завдання на СРС: Повторити матеріал лекції з використанням літератури.  |
| 19 | Хвильоводи. Круглий хвилевід. Критичні частоти. Поля в круглому хвильоводі. Основна хвиля круглого хвильоводу, її параметри. Література [1-7].<br>Завдання на СРС: Повторити матеріал лекції за допомогою літератури.  |

|    |   |
|----|---|
| 20 | Лінії передачі з хвилями типу Т (TEM). Визначення хвилі типу Т, її особливості. Параметри хвилі типу Т. Характеристичний опір. Рівняння Лапласа для хвилі типу Т. Хвильовий опір. Двопровідна лінія передачі, її поля та параметри. Коаксіальна лінія передачі, її поля та параметри. Смушкові лінії передачі, їх поля та параметри. Література [1-7], [9].<br>Завдання на СРС: Повторити матеріал лекції з використанням літератури. |
| 21 | Відкриті лінії передачі. Загальні властивості діелектричних хвилеводів. Плоский діелектричний хвилевід. Круглий діелектричний хвилевід. Структура і параметри діелектричних хвилеводів. Світловоди. Квазіоптичні лінії передачі. Література [1-7], [9].<br>Завдання на СРС: Повторити матеріал лекції за допомогою літератури.  |
| 22 | Об'ємні резонатори. Види об'ємних резонаторів. Властивості вільних коливань у резонаторі. Резонансна частота. Добротність. Квазістаціонарні резонатори. Коаксіальний резонатор. Прямокутний резонатор. Циліндричний резонатор. Застосування резонаторів. Література [1-7].<br>Завдання на СРС: Повторити матеріал лекції з використанням літератури.  |
| 23 | Резонатори відкритого типу. Відкриті діелектричні резонатори. Хвилевідні резонатори відкритого типу. Відкриті дзеркальні резонатори, їх конструкції та параметри. Застосування резонаторів відкритого типу. Література [1-6].<br>Завдання на СРС: Повторити матеріал лекції за допомогою літератури.  |
| 24 | Способи збудження хвилеводів і резонаторів. Збудження хвиль у хвилеводах. Елементи збудження, їх конструкції та правила розміщення. Збудження коливань у об'ємних резонаторах. Література [1-7], [9].<br>Завдання на СРС: Повторити матеріал лекції з використанням літератури.   |
| 25 | Основні параметри антен. Диполь Герца. Діаграма спрямованості антени. Коефіцієнт спрямованої дії. Опір випромінювання антени. Диполь Герца. Особливості полів диполя Герца в зонах індукції та випромінювання. Електромагнітні характеристики диполя Герца. Література [1-7], [9].<br>Завдання на СРС: Повторити матеріал лекції за допомогою літератури.   |
| 26 | Елементарні магнітні випромінювачі. Елемент Гюйгенса. Елементарний магнітний випромінювач, його характеристики. Рамковий випромінювач. Елементарний щільний випромінювач, його характеристики. Елемент Гюйгенса. Характеристики елемента Гюйгенса. Література [1-7], [9].<br>Завдання на СРС: Повторити матеріал лекції з використанням літератури.   |
| 27 | Дифракція електромагнітних хвиль. Суть явища дифракції. Критерій наявності дифракції. Принцип Гюйгенса-Френеля. Метод зон Френеля. Радіуси зон Френеля. Площі зон Френеля. Дифракція Френеля на круглому отворі та півплощині. Дифракція Фраунгофера на ідеально провідному циліндрі. Застосування явища дифракції в техніці. Література [1-7], [9].<br>Завдання на СРС: Повторити матеріал лекції за допомогою літератури.           |

## 5. Практичні заняття

Метою практичних занять є набуття вмінь розв'язання задач електродинаміки та навичок розрахунку основних параметрів ліній передачі, резонаторів і випромінювачів. Темі практичних занять указано в таблиці.

| № з/п | Назва теми практичного заняття та перелік основних питань (перелік дидактичного забезпечення та посилання на літературу) |
|-------|--|
| 1     | Доведення основних тотожностей і теорем векторного аналізу. Література [1-7].  |
| 2     | Векторний аналіз. Потенціальні та соленоїдні поля. Література [1-7], [9].  |
| 3     | Основні поняття електродинаміки. Рівняння Максвелла. Література [1-7], [9].  |
| 4     | Статичні електромагнітні поля. Теорема Гаусса. Література [1-7].   |
| 5     | Стаціонарні поля. Розрахунок ємностей та індуктивностей. Література [1-7].   |
| 6     | Плоскі електромагнітні хвилі, розрахунок основних параметрів. Література [1-10].   |
| 7     | Загасання плоских електромагнітних хвиль. Література [1-7], [9].   |
| 8     | Поляризація плоских електромагнітних хвиль. Література [1-10].   |
| 9     | Зв'язок між лінійним і коловим поляризаційними базисами. Література [1-8].   |

|    |   |
|----|---|
| 10 | Відбиття і заломлення плоских електромагнітних хвиль. Література [1-10].      |
| 11 | Формули Френеля. Зміна поляризації електромагнітних хвиль. Література [1-7].  |
| 12 | Прямокутні та круглі хвилеводи. Типи хвиль та їх параметри. Література [1-9]. |
| 13 | Однохвильовий режим роботи хвилеводів. Критичні частоти. Література [1-9].    |
| 14 | Розрахунок елементів збудження хвилеводів. Література [1-7].                  |
| 15 | Лінії передачі з хвилями типу Т. Параметри ліній передачі. Література [1-9].  |
| 16 | Розрахунок хвильових опорів коаксіальних і смужкових ліній. Література [1-9]. |
| 17 | Об'ємні резонатори. Резонансні частоти та добротності. Література [1-8].      |
| 18 | Елементарні випромінювачі. Розрахунок основних параметрів. Література [1-8].  |

## 6. Лабораторні роботи

Основною метою лабораторних робіт є поглиблене засвоєння теоретичного матеріалу і набуття студентами навиків експериментального дослідження властивостей електромагнітних коливань, хвиль і структур, у яких вони виникають. Лабораторні роботи забезпечені методичними вказівками [8]. Темі лабораторних робіт представлено в таблиці. Студенти виконують 6 лабораторних робіт із 7 відповідно до номеру бригади та графіку робіт.

| № з/п | Назва лабораторної роботи  | Кількість ауд. годин |
|-------|--|----------------------|
| 1     | Дослідження поляризації електромагнітних хвиль   | 6                    |
| 2     | Дослідження явищ, що виникають при поширенні електромагнітних хвиль в анізотропних середовища              | 6                    |
| 3     | Дослідження електромагнітних хвиль над провідною площиною  | 6                    |
| 4     | Дослідження дисперсних характеристик основних хвиль у прямокутному хвилеводі і коаксіальній лінії передачі | 6                    |
| 5     | Дослідження структури поля в металевих хвилеводах і резонаторах  | 6                    |
| 6     | Дослідження дифракції електромагнітних хвиль   | 6                    |
| 7     | Дослідження випромінювання елементарних випромінювачів електромагнітних хвиль                              | 6                    |

## 6. Самостійна робота студента

| № з/п | Назви тем і питань, що виносяться на самостійне опрацювання та посилання на рекомендовану навчальну літературу                        | Кількість годин СРС |
|-------|---|---------------------|
| 1     | Об'єкт вивчення і області застосування електродинаміки. Література [1-6].   | 1                   |
| 2     | Векторний аналіз. Література [1-7], [9-14].   | 1                   |
| 3     | Поняття електричного заряду і струму, їх щільностей. Основні властивості електричних зарядів і струмів. Література [1-6].             | 1                   |
| 4     | Електричне і магнітне поля. Рівняння Максвелла. Їх фізичний зміст. Література [1-6], [9-14].  | 1                   |
| 5     | Матеріальні рівняння. Поляризованість і намагніченість середовищ. Література [1-6], [9-14].   | 1                   |
| 6     | Електричні та магнітні властивості середовищ. Класифікація середовищ за їх електромагнітними властивостями. Література [1-6], [9-14]. | 1                   |
| 7     | Граничні умови на провідних вістрях і ребрах. Література [1-6], [9-14].   | 1                   |
| 8     | Співвідношення Крамерса-Кроніга. Література [1-6], [9-14].  | 1                   |
| 9     | Рівняння балансу активної і реактивної потужностей. Література [1-6].   | 1                   |
| 10    | Умови випромінювання Зоммерфельда. Література [1-6], [9-14].  | 1                   |
| 11    | Рівняння Гельмгольца в основних системах координат. Література [1-7].   | 1                   |
| 12    | Методи розрахунку скалярного і векторного потенціалів. Література [1-7].  | 1                   |
| 13    | Метод дзеркальних зображень. Література [1-6], [9-14].  | 1                   |



|    |  |   |
|----|--|---|
| 14 | Взаємна індуктивність. Методи розрахунку індуктивності. Література [1-7].  | 1 |
| 15 | Електромагнітні хвилі в провідних середовищах. Загасання хвиль. Глибина проникнення хвилі. Скін-ефект. Література [1-7], [9-14].                 | 1 |
| 16 | Поляризація електромагнітних хвиль. Види поляризації, їх властивості. Коефіцієнт еліптичності в різних поляризаційних базисах. Література [1-7]. | 1 |
| 17 | Закони Снелла. Повне внутрішнє відбиття електромагнітних хвиль, його застосування в техніці. Література [1-6], [9-14].                           | 1 |
| 18 | Формули Френеля для коефіцієнтів відбиття та заломлення плоскої електромагнітної хвилі на межі середовищ. Література [1-6], [9-14].              | 1 |
| 19 | Ефект Фарадея. Застосування ефекту Фарадея в техніці. Ефект Коттона-Мутона. Література [1-6], [9-14].  | 1 |
| 20 | Явище феромагнітного резонансу. Застосування феромагнітного резонансу в техніці. Література [1-6], [9-14].                                       | 1 |
| 21 | Підготовка до МКР 1  | 2 |
| 22 | Виконання частин 1, 2 розрахункової роботи. Література [1-7], [9-14].  | 6 |
| 23 | Лінії передачі, їх класифікація та застосування. Література [1-6], [9-14].   | 1 |
| 24 | Поширення електромагнітних хвиль між двома провідними площинами. Хвилі типу E і H. Література [1-6], [9-14].                                     | 1 |
| 25 | Параметри хвиль у хвилеводах, методи їх вимірювання. Література [1-8].   | 1 |
| 26 | П- і Н-подібні хвилеводи, їх переваги та недоліки. Література [1-6], [9-14].   | 1 |
| 27 | Хвильовий опір ліній передачі. Методи його вимірювання. Література [1-6].  | 1 |
| 28 | Копланарна лінія передачі. Її хвилі, поля та параметри. Література [1-7].  | 1 |
| 29 | Одномодові та багатомодові оптоволоконні лінії передачі. Література [1-7].   | 1 |
| 30 | Квазіоптичні лінії передачі, їх конструкції та параметри. Література [1-7].  | 1 |
| 31 | Підготовка до МКР 2  | 2 |
| 32 | Виконання частини 3 розрахункової роботи. Література [1-7], [9-14].  | 2 |
| 33 | Квазістаціонарні резонатори: конструкції, розподіли полів і струмів, основні параметри, області застосування. Література [1-6], [9-14].          | 1 |
| 34 | Коаксіальний резонатор: конструкція, розподіли полів і струмів, основні параметри, області застосування. Література [1-6], [9-14].               | 1 |
| 35 | Прямокутний резонатор: конструкція, розподіли полів і струмів, основні параметри, області застосування. Література [1-14].                       | 1 |
| 36 | Циліндричний резонатор: конструкція, розподіли полів і струмів, основні параметри, області застосування. Література [1-14].                      | 1 |
| 37 | Відкриті діелектричні резонатори: конструкції, розподіли полів, основні параметри, області застосування. Література [1-6], [9-14].               | 2 |
| 38 | Відкриті хвилевідні резонатори: конструкції, розподіли полів, основні параметри, області застосування. Література [1-6], [9-14].                 | 1 |
| 39 | Відкриті дзеркальні резонатори: конструкції, розподіли полів, основні параметри, області застосування. Література [1-6], [9-14].                 | 1 |
| 40 | Збудження хвиль у хвилеводах. Елементи збудження, їх конструкції та правила розміщення. Розрахунок вимушених хвиль. Література [1-7], [9-14].    | 3 |
| 41 | Збудження коливань у об'ємних резонаторах. Елементи збудження. Розрахунок вимушених коливань. Література [1-7], [9-14].                          | 2 |
| 42 | Виконання частини 4 розрахункової роботи. Література [1-7], [9-14].  | 2 |
| 43 | Основні параметри антен. Диполь Герца. Література [1-8], [11-14].  | 5 |
| 44 | Елементарні випромінювачі. Елемент Гюйгенса. Література [1-6].   | 5 |
| 45 | Дифракція електромагнітних хвиль. Література [1-6], [11-17].   | 4 |

|    |                        |    |
|----|------------------------|----|
| 46 | Підготовка до екзамену | 30 |
| 47 | Усього годин           | 99 |

### Індивідуальні завдання

Передбачено виконання студентами розрахунково-графічної роботи (РГР). Метою її виконання є отримання вмінь розв'язувати задачі електродинаміки. РГР містить 10 задач із основних розділів дисципліни. У задачах 1–3 потрібно визначити параметри плоских електромагнітних хвиль. Задачі 4–6 присвячені процесам відбиття і заломлення плоских електромагнітних хвиль. У задачах 7, 8 потрібно розрахувати основні параметри і зобразити поля в прямокутному та круглому хвилеводах, а в задачах 9, 10 — у прямокутному і циліндричному резонаторах.

## Політика та контроль

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

Вивчення кредитного модуля складається із прослуховування лекційного курсу, участі у практичних заняттях, виконання лабораторних робіт, модульних контрольних робіт і розрахунково-графічної роботи. Таким чином, основною методичною вимогою є узгодження часу вивчення тем лекційного курсу з виконанням відповідних завдань інших видів навчання.

Усі матеріали, необхідні для вивчення кредитного модуля і підготовки до екзамену, є в інформаційному пакеті. Інформаційний пакет містить:

- методичні вказівки до виконання лабораторних робіт;
- завдання на розрахунково-графічну роботу;
- перелік запитань до екзамену.

Інформаційний пакет у електронному вигляді надається студентам на початку семестру, що дає можливість планувати самостійну роботу.

Поточний контроль якості засвоєння навчального матеріалу кредитного модуля відбувається відповідно до РСО, складеної таким чином, що спонукає студентів ритмічно працювати протягом семестру.

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

#### Рейтингова система оцінювання результатів навчання

Рейтинг студента з дисципліни (РД) є сумою балів поточної успішності навчання — стартового рейтингу (РС) та екзаменаційних балів (РЕ):

$$РД = РС + РЕ.$$

Розмір стартової шкали РС = 64 балів.

Розмір екзаменаційної шкали РЕ = 36 балів.

Розмір шкали рейтингу з дисципліни РД = 100 балів.

#### Система рейтингових балів РС та критерії оцінювання

РС складається з балів, одержаних за виконання таких робіт:

1. Готовність до кожної з 6 лабораторних робіт надає такі бали:

|  |    |
|--|----|
| - відмінне знання теоретичного матеріалу за темою роботи     | 2  |
| - задовільне знання теоретичного матеріалу за темою роботи   | 1  |
| - незадовільне знання теоретичного матеріалу за темою роботи | 0  |
| Максимальна сума балів за готовність до лабораторних робіт   | 12 |

1. Захист кожної з кожної з 6 лабораторних робіт надає такі бали:

|   |    |
|---|----|
| - повна відповідь (не менше 80% потрібної інформації)     | 2  |
| - неповна відповідь (не менше 60% потрібної інформації)   | 1  |
| - незадовільна відповідь (менше 60% потрібної інформації) | 0  |
| Максимальна сума балів за захист лабораторних робіт       | 12 |

1. Виконання кожної з 5 задач на двох МКР дає такі рейтингові бали:

|   |    |
|---|----|
| - повний правильний розв'язок задачі та правильна відповідь | 2  |
| - правильний хід рішення, наявність незначних помилок       | 1  |
| - незадовільний або відсутній розв'язок задачі              | 0  |
| Максимальна сума балів за виконання МКР                     | 20 |

1. Виконання кожної з 10 задач РГР надає такі рейтингові бали:

|   |    |
|---|----|
| - повний правильний розв'язок задачі та правильна відповідь | 2  |
| - частковий розв'язок задачі, наявні помилки                | 1  |
| - незадовільне розв'язання задачі або несвоєчасне виконання | 0  |
| Максимальна сума балів за виконання РГР                     | 20 |

Максимальний РС дорівнює:  $PC = 12 + 12 + 20 + 20 = 64$  бали.

### **Умови допуску до екзамену:**

1. Здача повністю виконаної розрахунково-графічної роботи;
2. Виконання всіх лабораторних робіт, оформлення і здача звітів по них;
3. Отримання не менше ніж 30 балів РС протягом семестру.

Протягом останнього тижня семестру студентам, які не набрали 30 балів, надається можливість підвищення РС шляхом перездачі МКР.

### **Система рейтингових балів РЕ та критерії оцінювання**

На екзамені студентами виконується письмова контрольна робота. Кожен білет містить два теоретичних питання та одну задачу за основними розділами кредитного модуля. Кожне теоретичне питання оцінюється максимум у 12 балів. Задача оцінюється у 12 балів.

Відповідь на кожне теоретичне питання надає такі бали:

|   |    |
|---|----|
| - повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації)                                   | 12 |
| - достатньо повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації або незначні неточності) | 8  |
| - неповна відповідь (не менше 50% потрібної інформації та деякі помилки)                | 4  |
| - незадовільна відповідь (менше 50% потрібної інформації)                               | 0  |

Розв'язок задачі надає такі бали:

|   |    |
|---|----|
| - повний правильний розв'язок задачі та правильна відповідь | 12 |
| - правильний хід рішення, наявність незначних помилок       | 8  |
| - частковий розв'язок задачі, наявні значні помилки         | 4  |
| - незадовільний або відсутній розв'язок задачі              | 0  |

Максимальний РЕ дорівнює:  $PE = 12 + 12 + 12 = 36$  балів.

Система рейтингової оцінки успішності доводиться до відома студентів на першій лекції семестру. Хід одержання рейтингових балів повідомляється студентам викладачем, який виконує рейтингову оцінку успішності. Підсумовування рейтингових балів відбувається на останній лекції семестру.

**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**

Лабораторні роботи за дисципліною «Електродинаміка та поширення радіохвиль» проводяться у двох лабораторіях радіотехнічного факультету: 320-17, 326-17. Лабораторії обладнано генераторами надвисокочастотних коливань, рупорними та дипольними антенами, резонаторами, вимірювальними лініями, опорно-поворотними пристроями, атенюаторами, фазозсувачами, вольтметрами, коаксіальними та хвилевідними лініями передачі. Загалом у лабораторіях міститься 7 макетів — по одному на кожен виконуваний роботу. Лабораторні роботи виконуються за такими темами: 1) Дослідження випромінювання електричного і магнітного диполів; 2) Дослідження поляризації електромагнітних хвиль; 3) Дослідження явищ, що виникають при поширенні електромагнітних хвиль в анізотропних середовищах; 4) Дослідження електромагнітних хвиль над провідною площиною; 5) Дослідження дисперсних характеристик основних хвиль у прямокутному хвилеводі і коаксіальній лінії передачі; 6) Дослідження структури поля в металевих хвилеводах і резонаторах; 7) Дослідження дифракції електромагнітних хвиль.

---

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

**Складено** [Пільтяй С. І.](#); [Найденко В. І.](#);

**Ухвалено** кафедрою РІ (протокол № 06/2023 від 23.06.2023 )

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