



Електродинаміка та поширення радіохвиль (Electrodynamics and Propagation of Radiowaves)

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Перший (бакалаврський)</i>
Галузь знань	<i>17 – Електроніка, автоматизація та електронні комунікації</i>
Спеціальність	<i>172 – Електронні комунікації та радіотехніка</i>
Освітня програма	<i>Інформаційна та комунікаційна радіоінженерія</i>
Статус дисципліни	<i>Нормативна</i>
Форма навчання	<i>Очна (денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>2 курс, 3 семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>7 кредитів (Лекц. 42 год., практи. 38 год., лаб. 28 год., СРС 102 год.)</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Екзамен</i>
Розклад занять	https://schedule.kpi.ua
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лекції: канд. техн. наук, доцент Пільтяй Степан Іванович, crosspolar@ukr.net Практичні заняття: канд. техн. наук, доцент Пільтяй Степан Іванович, канд. техн. наук, доцент Купрій Олександр Михайлович Лабораторні роботи: канд. техн. наук, доцент Пільтяй Степан Іванович, канд. техн. наук, доцент Купрій Олександр Михайлович, доктор філософії, асистент Козачук Максим Андрійович
Розміщення курсу	https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=642

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:

Знання:

- фундаментальних законів та основ теорії електромагнітного поля;
- методів розв'язку основних задач електродинаміки;
- структури і характеристик електромагнітних полів у вільному просторі, середовищах з втратами, лініях передачі та резонаторах;
- методів вимірювання розподілів полів у хвильоводах і резонаторах.

Уміння:

- розраховувати основні параметри плоских електромагнітних хвиль;
- визначати коефіцієнти відбиття і проходження на межі поділу середовищ;

- розв'язувати крайові задачі електродинаміки для хвильоводів, резонаторів;
- працювати з вимірювальною апаратурою діапазону надвисоких частот.

Досвід:

- формування електромагнітних хвиль із різними видами поляризації;
- вимірювання поляризаційних діаграм для хвиль різних поляризацій;
- проведення вимірювань характеристик хвильоводів і розподілу поля в них;
- експериментального дослідження резонаторів і визначення їх параметрів.

Програмні компетентності

Загальні компетентності

- 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 03. Здатність використовувати базові методи, способи та засоби отримання, передавання, обробки та зберігання інформації;
- ФК 06. Здатність проводити інструментальні вимірювання в інформаційно-телекомунікаційних мережах, телекомунікаційних та радіотехнічних системах.

Програмні результати навчання

ПРН 01. Аналізувати, аргументувати, приймати рішення при розв'язанні спеціалізованих задач та практичних проблем телекомунікацій та радіотехніки, які характеризуються комплексністю та неповною визначеністю умов;

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

ПРН 03. Визначати та застосовувати у професійній діяльності методики випробувань інформаційно-телекомунікаційних мереж, телекомунікаційних та радіотехнічних систем на відповідність вимогам вітчизняних та міжнародних нормативних документів;

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 08. 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.

The academic course "**Electrodynamics and Propagation of Radiowaves**" is dedicated to study of the fundamental properties of electromagnetic field, and to students' acquisition of specific knowledge about the propagation of electromagnetic waves. Students learn to determine the basic characteristics of electromagnetic waves, to form electromagnetic waves with different types of polarization, to measure polarization diagrams and determine the polarization of waves based on them, to solve boundary problems of electrodynamics, to calculate and measure the parameters of transmission lines and resonators, to measure field distributions in transmission lines and resonators.

After having mastered the academic course "Electrodynamics and Propagation of Radiowaves", students must demonstrate the following learning outcomes:

Knowledge of:

- fundamental laws and foundations of electromagnetic field theory;
- methods for solving basic problems of electromagnetics;
- structure and characteristics of electromagnetic fields in free space, lossy media, transmission lines and resonators
- methods for measuring field distributions in waveguides and resonators.

Skills to:

- calculate the main parameters of plane electromagnetic waves;
- determine the reflection and transmission coefficients at the interface between media;
- solve boundary problems of electromagnetics for waveguides and resonators;
- operate with measuring equipment of the microwave frequency range.

Experience in:

- obtaining of electromagnetic waves with different types of polarization;
- measuring of polarization diagrams of electromagnetic waves with various polarizations;
- carrying out measurements of waveguide characteristics and field distribution in them;
- experimental study of resonators and determination of their parameters.

Programme competencies

General competencies

- GC 02. Ability to apply knowledge in practical situations;
- GC 04. Knowledge and understanding of the subject area and understanding of professional activity;
- GC 07. Ability to learn and master modern knowledge;
- GC 08. Ability to identify, pose and solve problems.

Professional competencies

- PC 03. Ability to use basic methods, methods and means of obtaining, transmitting, processing and storing information;
- PC 06. Ability to carry out instrumental measurements in information and telecommunication networks, telecommunication and radio engineering systems.

Programme learning outcomes

- PLO 01. Analyze, argue, make decisions when solving specialized tasks and practical problems of telecommunications and radio engineering, which are characterized by complexity and incomplete determination of conditions;
- PLO 02. Apply the results of personal search and analysis of information to solve qualitative and quantitative problems of a similar nature in information and communication networks, telecommunications and radio engineering systems;
- PLO 03. To determine and apply in professional activity the methods of testing information and telecommunication networks, telecommunication and radio technical systems for compliance with the requirements of domestic and international regulatory documents;
- PLO 04. Explain the results obtained from measurements in terms of their significance and relate them to the relevant theory;
- PLO 07. Competently apply the terminology of the field of telecommunications and radio engineering;
- PLO 08. Describe the principles and procedures used in telecommunication systems, information and telecommunication networks and radio engineering;
- PLO 13. Apply basic and applied sciences to analyze and develop processes occurring in telecommunications and radio engineering systems;
- PLO 18. Find, evaluate and use information from various sources necessary for solving professional problems, including reproduction of information through electronic search.

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 процесів, теорією довгих ліній.

Отримані знання та навички після вивчення дисципліни **"Електродинаміка та поширення радіохвиль"** використовують надалі в дисциплінах **"Пристрої надвисоких частот"**, **"Автоматизоване проектування антен та пристроїв НВЧ"**, **"Антени"**, **"Антени систем радіоелектронної боротьби"**, **"Електромагнітна сумісність"**, **"Мікрохвильові прилади та антени"**, **"Трансивери сучасних радіотехнічних систем"**, при виконанні курсових та дипломних робіт.

The academic course **"Electrodynamics and Propagation of Radiowaves"** is based on the knowledge acquired by students after studying the courses **"Higher Mathematics"**, **"General Physics"**, **"Fundamentals of Circuit Theory"**. Students must possess the basic knowledge of vector analysis, electrostatics, electrodynamics, the theory of oscillations and wave processes, and the theory of transmission lines.

The knowledge and skills obtained after studying the course **"Electrodynamics and Radiowaves Propagation"** are used in the following courses, including **"Microwave Devices"**, **"Automated Design of Microwave Antennas and Devices"**, **"Antennas"**, **"Antennas of Electronic Warfare Systems"**, **"Electromagnetic Compatibility"**, **"Microwave Devices and Antennas"**, **"Transceivers of Modern Radio Engineering Systems"**, when making course and diploma theses.

3. Зміст навчальної дисципліни

Назви розділів і тем	Кількість годин				
	Всього го	У тому числі			
		Лекції	Практичні заняття	Лабораторні роботи	СРС
Розділ 1. Основи електродинаміки					
Тема 1. Об'єкт вивчення і області застосування електродинаміки	4	2			2
Тема 2. Векторний аналіз	8	2	4		2
Тема 3. Основні поняття електродинаміки. Рівняння Максвелла	8	2	2		4
Тема 4. Матеріальні рівняння. Класифікація середовищ	6	2			4
Тема 5. Граничні умови на межі поділу середовищ	4	2			2
Тема 6. Рівняння електродинаміки в комплексній формі	4	2			2
Тема 7. Енергетичні характеристики електромагнітного поля	4	2			2
Тема 8. Основні теореми і принципи електродинаміки	4	2			2
Тема 9. Аналітичні методи розв'язку задач електродинаміки	6	2			4
Тема 10. Статичні та стаціонарні електромагнітні поля	10	2	4		4
Разом за розділом 1	58	22	10		28
Розділ 2. Поширення, відбиття і заломлення плоских електромагнітних хвиль					
Тема 1. Плоскі електромагнітні хвилі	18	2	8	4	4
Тема 2. Відбиття і заломлення плоских електромагнітних хвиль	14	2	4	4	4
Тема 3. Електромагнітні хвилі в анізотропних середовищах	8	2		4	2
МКР 1	4				4
Розрахункова робота, ч. 1, 2	4				4
Разом за розділом 2	48	6	12	12	18
Розділ 3. Лінії передачі					
Тема 1. Електромагнітні хвилі у спрямовуючих системах	4	2			2
Тема 2. Хвилеводи	10		6	2	2
Тема 3. Лінії передачі з хвилями типу Т	10	2	4	2	2
Тема 4. Відкриті лінії передачі	4	2			2
МКР 2	2				2
Розрахункова робота, ч. 3, 4	2				2
Разом за розділом 3	32	6	10	4	12
Розділ 4. Резонатори					
Тема 1. Об'ємні резонатори	14	2	2	6	2
Тема 2. Резонатори відкритого типу	4	2			2

Тема 3. Способи збудження хвильоводів і резонаторів	7	1			2
Розрахункова робота, ч. 5	2				2
Разом за розділом 4	22	4	2	6	8
Розділ 5. Випромінювання та дифракція електромагнітних хвиль					
Тема 1. Основні параметри антен. Диполь Герца	8	2	2		2
Тема 2. Елементарні магнітні випромінювачі. Елемент Гюйгенса	5	1	2		2
Тема 3. Дифракція електромагнітних хвиль	9	1		6	2
Разом за розділом 5	22	4	4	6	6
Екзамен	30				30
Усього годин	210	42	38	36	102

4. Навчальні матеріали та ресурси

Рекомендована література

1. Електродинаміка та поширення радіохвиль. Конспект лекцій: навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра за освітніми програмами «Інформаційна та комунікаційна радіоінженерія», «Інтелектуальні технології радіоелектронної техніки», «Радіотехнічні комп'ютеризовані системи» спеціальності 172 Електронні комунікації та радіотехніка / С. І. Пільтай; Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. — 171 с.
2. 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.
3. 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.
4. D. M. Pozar. Microwave Engineering. — New Jersey: Wiley Press, 2012. — 732 p.
5. Технічна електродинаміка та поширення радіохвиль: навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра за освітньою програмою «Електронні системи мультимедіа та засоби Інтернету речей» спеціальності 171 Електроніка / В. В. Пілінський, В. Б. Швайченко; Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2025. — 343 с.
6. Електродинаміка та поширення радіохвиль. Збірник задач: навчальний посібник для студентів, які навчаються за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка» / С. І. Пільтай; Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. — 88 с.
7. Електродинаміка та поширення радіохвиль. Практикум: навчальний посібник для студентів спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка» / С. І. Пільтай; Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. — 54 с.
8. Електродинаміка та поширення радіохвиль. Рекомендації до виконання розрахункової роботи: навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра за освітніми програмами «Інформаційна та комунікаційна радіоінженерія», «Інтелектуальні технології радіоелектронної техніки», «Радіотехнічні комп'ютеризовані системи», «Технології радіоелектронної боротьби» спеціальності 172 Електронні комунікації та радіотехніка / С. І. Пільтай; Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024. — 157 с.
9. Електродинаміка та поширення радіохвиль. Лабораторний практикум: навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра за освітніми програмами «Інформаційна та комунікаційна радіоінженерія», «Інтелектуальні технології радіоелектронної техніки», «Радіотехнічні комп'ютеризовані системи» спеціальності 172 Електронні комунікації та радіотехніка / О. М. Купрій, С. І. Пільтай, В. І. Найденко; Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. — 93 с.
10. Прикладна електродинаміка інформаційних систем / А. С. Андрущак, З. Ю. Готра, О. С. Кушнір. — Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2012. — 304 с.
11. Захарія Й. А. Методи прикладної електродинаміки. — Львів: «Бескид Біт», 2003. — 352 с.

Recommended references

1. Electrodynamics and Propagation of Radiowaves. Lecture notes: a textbook for bachelor's degree applicants in the educational programs "Information and communication radio engineering", "Intelligent technologies of radio electronic engineering", "Radio engineering computerized systems" of specialty 172 Electronic communications and radio engineering / S. I. Piltyay; Kyiv: Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, 2023. — 171 p. (in Ukrainian).
2. Electrodynamics and Propagation of Radiowaves. Part 1. Fundamentals of electromagnetic field theory: Textbook for university students / Edited by V. M. Shokalo and V. I. Pravda. — Kharkiv: KhNURE; Collegium, 2009. — 286 p. (in Ukrainian).
3. Electrodynamics and Propagation of Radiowaves. Part 2. Radiation and propagation of electromagnetic waves: Textbook for university students / Edited by V. M. Shokalo and V. I. Pravda. — Kharkiv: KhNURE; Collegium, 2010. — 435 p. (in Ukrainian).
4. D. M. Pozar. Microwave Engineering. — New Jersey: Wiley Press, 2012. — 732 p.
5. Technical Electrodynamics and Propagation of Radiowaves: a textbook for bachelor's degree applicants in the educational program "Electronic multimedia systems and Internet of Things devices" specialty 171 Electronics / V. V. Pilinsky, V. B. Shvaichenko; Kyiv: Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, 2025. — 343 p. (in Ukrainian).
6. Electrodynamics and Propagation of Radiowaves. Collection of problems: a textbook for students studying in specialty 172 "Telecommunications and radio engineering" / S. I. Piltyay; Kyiv: Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, 2022. — 88 p. (in Ukrainian).
7. Electrodynamics and Propagation of Radiowaves. Practical course: a textbook for students of specialty 172 "Telecommunications and radio engineering" / S. I. Piltyay; Kyiv: Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, 2021. — 54 p. (in Ukrainian).
8. Electrodynamics and Propagation of Radiowaves. Recommendations for performing calculation work: a textbook for bachelor's degree applicants in the educational programs "Information and communication radio engineering", "Intelligent technologies of radio electronic engineering", "Radio engineering computerized systems", "Technologies of radio electronic warfare" of specialty 172 Electronic communications and radio engineering / S. I. Piltyay; Kyiv: Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, 2024. — 157 p. (in Ukrainian).
9. Electrodynamics and Propagation of Radiowaves. Laboratory works course: a textbook for bachelor's degree applicants in the educational programs "Information and communication radio engineering", "Intelligent technologies of radio electronic engineering", "Radio engineering computerized systems" of specialty 172 Electronic communications and radio engineering / O. M. Kupriy, S. I. Piltyay, V. I. Naidenko; Kyiv: Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, 2023. — 93 p. (in Ukrainian).
10. Applied Electrodynamics of Information Systems / A. S. Andrushchak, Z. Yu. Gotra, O. S. Kushnir. — Lviv: Lviv Polytechnic Publishing House, 2012. — 304 p. (in Ukrainian).
11. Zakharia Y. A. Methods of Applied Electrodynamics. — Lviv: "Beskyd Bit", 2003. — 352 p. (in Ukrainian).

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Лекційні заняття

Лекційні заняття підготовлені відповідно до рекомендованого джерела [1].

№	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)
1	<u>Об'єкт вивчення і області застосування електродинаміки.</u> 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 [1–5]. Завдання на СРС: Ознайомитись із галузями застосування електродинаміки.
2	<u>Векторний аналіз.</u> 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 [1–5]. Завдання на СРС: Довести основні тотожності векторного аналізу.
3	<u>Основні поняття електродинаміки. Рівняння Максвелла.</u> 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 [1–5].

	Завдання на СРС: Вивести рівняння Максвелла в диференціальній формі.
4	<u>Матеріальні рівняння. Класифікація середовищ.</u> 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 [1–5]. Завдання на СРС: Вивести матеріальні рівняння для гіротропних середовищ.
5	<u>Граничні умови на межі поділу середовищ.</u> Граничні умови для нормальних складових електромагнітного поля. Граничні умови для тангенціальних складових електромагнітного поля. Граничні умови на межі поділу ідеальних діелектрика та провідника. Література [1–5]. Завдання на СРС: Отримати граничні умови на провідних вістрях і ребрах.
6	<u>Рівняння електродинаміки в комплексній формі.</u> Особливості гармонічних електромагнітних коливань і хвиль. Метод комплексних амплітуд. Рівняння Максвелла в комплексній формі. Комплексні проникності. Матеріальні рівняння в комплексній формі. Тангенси кутів електричних і магнітних втрат середовищ. Література [1–5]. Завдання на СРС: Записати і вивести співвідношення Крамерса-Кроніга.
7	<u>Енергетичні характеристики електромагнітного поля.</u> 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 [1–5]. Завдання на СРС: Вивести рівняння балансу активної і реактивної потужностей.
8	<u>Основні теореми і принципи електродинаміки.</u> 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 [1–5]. Завдання на СРС: Отримати умови випромінювання Зоммерфельда.
9	<u>Аналітичні методи розв'язку задач електродинаміки.</u> Хвильові рівняння для електричного і магнітного полів. Рівняння Гельмгольца для електричного і магнітного полів. Методи розв'язку рівнянь Гельмгольца. Література [1–5]. Завдання на СРС: Рівняння Гельмгольца в основних системах координат.
10	<u>Аналітичні методи розв'язку задач електродинаміки.</u> Електродинамічні потенціали і вектори Герца. Рівняння Гельмгольца для потенціалів і векторів Герца. Вирази для розрахунку потенціалів. Література [1–5]. Завдання на СРС: Вивести формулу для розрахунку векторного потенціалу.
11	<u>Статичні та стаціонарні електромагнітні поля.</u> 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 [1–5]. Завдання на СРС: Метод дзеркальних зображень. Взаємна індуктивність.
12	<u>Плоскі електромагнітні хвилі.</u> 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 [1–5]. Завдання на СРС: Отримати формули для коефіцієнтів загасання і фази.
13	<u>Плоскі електромагнітні хвилі.</u> Поляризація хвиль. Види поляризації. Поляризаційні базиси. Коефіцієнт еліптичності. Вектор Пойнтинга плоских електромагнітних хвиль. Швидкість поширення енергії. Література [1–5]. Завдання на СРС: Коефіцієнт еліптичності в різних поляризаційних базисах.
14	<u>Відбиття і заломлення плоских електромагнітних хвиль.</u> 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 [1–5]. Завдання на СРС: Повторити матеріал лекції з використанням літератури.
15	<u>Відбиття і заломлення плоских електромагнітних хвиль.</u> 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 [1–5]. Завдання на СРС: Повторити матеріал лекції за допомогою літератури.
16	<u>Електромагнітні хвилі в анізотропних середовищах.</u> 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 [1–5]. Завдання на СРС: Повторити матеріал лекції з використанням літератури.
17	<u>Електромагнітні хвилі у спрямовуючих системах.</u> Класифікація ліній передачі. Поширення електромагнітних хвиль між двома провідними площинами. Хвилі типу Е і Н. 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 [1–4]. Завдання на СРС: Повторити матеріал лекції за допомогою літератури.
18	<u>Хвилеводи.</u> Визначення хвилеводу. Види хвилеводів. Типи хвиль у хвилеводах. Прямокутний хвилевід. Критичні частоти. Поля в прямокутному хвилеводі, структура поверхневих струмів на його стінках. Основна хвиля прямокутного хвилеводу, її параметри. Література [1–4]. Завдання на СРС: Повторити матеріал лекції з використанням літератури.
19	<u>Хвилеводи.</u> Круглий хвилевід. Критичні частоти. Поля в круглому хвилеводі. Основна хвиля круглого хвилеводу, її параметри. Література [1–4]. Завдання на СРС: Повторити матеріал лекції за допомогою літератури.
20	<u>Лінії передачі з хвилями типу Т (ТЕМ).</u> 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 [1–4]. Завдання на СРС: Повторити матеріал лекції з використанням літератури.
21	<u>Відкриті лінії передачі.</u> Загальні властивості діелектричних хвилеводів. Плоский діелектричний хвилевід. Круглий діелектричний хвилевід. Структура і параметри діелектричних хвилеводів. Світловоди. Квазіоптичні лінії передачі. Література [1–4]. Завдання на СРС: Повторити матеріал лекції за допомогою літератури.
22	<u>Об'ємні резонатори.</u> Види об'ємних резонаторів. Властивості вільних коливань у резонаторі. Резонансна частота. Добротність. Квазістаціонарні резонатори. Коаксіальний резонатор. Прямокутний резонатор. Циліндричний резонатор. Застосування резонаторів. Література [1–4]. Завдання на СРС: Повторити матеріал лекції з використанням літератури.
23	<u>Резонатори відкритого типу.</u> Відкриті діелектричні резонатори. Хвилевідні резонатори відкритого типу. Відкриті дзеркальні резонатори, їх конструкції та параметри. Застосування резонаторів відкритого типу. Література [1–4]. Завдання на СРС: Повторити матеріал лекції за допомогою літератури.
24	<u>Способи збудження хвилеводів і резонаторів.</u> Збудження хвиль у хвилеводах. Елементи збудження, їх конструкції та правила розміщення. Збудження коливань у об'ємних резонаторах. Література [1–4]. Завдання на СРС: Повторити матеріал лекції з використанням літератури.
25	<u>Основні параметри антен.</u> 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 [1–5]. Завдання на СРС: Повторити матеріал лекції за допомогою літератури.
26	<u>Елементарні магнітні випромінювачі.</u> Елемент Гюйгенса. Елементарний магнітний випромінювач, його характеристики. Рамковий випромінювач. Елементарний щільний випромінювач, його характеристики. Елемент Гюйгенса. Характеристики елементу Гюйгенса. Література [1–5]. Завдання на СРС: Повторити матеріал лекції з використанням літератури.
27	<u>Дифракція електромагнітних хвиль.</u> 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 [1–5]. Завдання на СРС: Повторити матеріал лекції за допомогою літератури.

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.

№	Назва теми практичного заняття та перелік основних питань (перелік дидактичного забезпечення та посилання на літературу)
1	Доведення основних тотожностей і теорем векторного аналізу. Література [6, 7].
2	Векторний аналіз. Потенціальні та соленоїдні поля. Література [6, 7].
3	Основні поняття електродинаміки. Рівняння Максвелла. Література [6, 7].
4	Статичні електромагнітні поля. Теорема Гаусса. Література [6, 7].
5	Стаціонарні поля. Розрахунок ємностей та індуктивностей. Література [6, 7].
6	Плоскі електромагнітні хвилі, розрахунок основних параметрів. Література [6–8].
7	Загасання плоских електромагнітних хвиль. Література [6–8].
8	Поляризація плоских електромагнітних хвиль. Література [6–8].
9	Зв'язок між лінійним і коловим поляризаційними базисами. Література [6–8].
10	Відбиття і заломлення плоских електромагнітних хвиль. Література [6–8].
11	Формули Френеля. Зміна поляризації електромагнітних хвиль. Література [6–8].
12	Прямокутні та круглі хвилеводи. Типи хвиль та їх параметри. Література [6–8].
13	Однохвильовий режим роботи хвилеводів. Критичні частоти. Література [6–8].
14	Розрахунок елементів збудження хвилеводів. Література [6–8].
15	Лінії передачі з хвилями типу Т. Параметри ліній передачі. Література [6–8].
16	Розрахунок хвильових опорів коаксіальних і смужкових ліній. Література [6–8].
17	Об'ємні резонатори. Резонансні частоти та добротності. Література [6–8].
18	Елементарні випромінювачі. Розрахунок основних параметрів. Література [6, 7].

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 навчальним посібником [9]. Темі лабораторних робіт представлено в таблиці. Студенти виконують 6 лабораторних робіт із 7 відповідно до номеру бригади та графіку робіт.

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

6. Самостійна робота здобувача вищої освіти

Самостійну підготовку можна здійснювати відповідно до джерел [1–5].

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

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

Індивідуальні завдання

Передбачено виконання студентами розрахункової роботи (РР). Метою її виконання є отримання вмінь розв'язувати задачі електродинаміки. РР містить 10 задач із основних розділів дисципліни. У задачах 1, 2 потрібно визначити параметри плоских електромагнітних хвиль. Задачі 3, 4 присвячено процесам відбиття і заломлення плоских електромагнітних хвиль. У задачах 5, 6 потрібно розрахувати основні параметри і зобразити компоненти поля в прямокутному та круглому хвилеводах, а в задачах 7, 8 — коаксіальній і

мікросмужковій лінійях передачі. Задачі 9, 10 присвячено визначенню основних параметрів електромагнітних коливань у прямокутному та круглому циліндричному об'ємних резонаторах.

Individual tasks

Students are required to complete a calculation work (CW). The purpose of its implementation is to obtain the skills to solve problems in electrodynamics. CW contains 10 problems from the main sections of the discipline. In problems 1, 2, it is necessary to determine the parameters of plane electromagnetic waves. Problems 3, 4 are devoted to the processes of reflection and refraction of plane electromagnetic waves. In problems 5, 6, it is necessary to calculate the main parameters and depict the field components in rectangular and circular waveguides, and in problems 7, 8 it is necessary to calculate parameters of coaxial and microstrip transmission lines. Problems 9, 10 are devoted to determining the main parameters of electromagnetic oscillations in rectangular and circular cylindrical volumetric resonators.

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Вивчення освітнього компонента "Електродинаміка та поширення радіохвиль" складається із прослуховування лекційного курсу, участі у практичних заняттях, виконання лабораторних робіт, модульних контрольних робіт і розрахункової 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 та підготовки до екзамену, є в дистанційному курсі "Електродинаміка та поширення радіохвиль", доступ до якого надається студентам. Дистанційний курс містить:

- конспект лекцій;
- лекції за темами із питаннями та задачами для самоперевірки;
- збірник задач і практикум для практичних занять;
- навчальний посібник для виконання лабораторних робіт;
- рекомендації до виконання розрахункової роботи;
- перелік запитань і задач до екзамену.

Доступ до дистанційного курсу надається студентам на початку семестру, що дає можливість планувати самостійну роботу.

Поточний контроль якості засвоєння навчального матеріалу освітнього компонента "Електродинаміка та поширення радіохвиль" відбувається відповідно до рейтингової системи оцінювання, складеної таким чином, що спонукає студентів ритмічно працювати протягом семестру.

Правила відвідування занять (як лекцій, так і практичних/лабораторних)

Обов'язковими до відбудовування є всі види занять: лекційні, практичні та лабораторні. Виконання всіх лабораторних робіт є обов'язковим. У разі пропуску цих занять, їх слід відпрацьовувати під час консультацій, або з іншими групами.

Захист лабораторних робіт

Лабораторні роботи захищаються у день виконання лабораторної роботи. Захист проходить у формі співбесіди. Обов'язковою умовою допуску до захисту є наявність оформленого протоколу, в який вносяться результати відпрацьованої лабораторної роботи у вигляді відповідних графіків та розрахунків або скрінів вимірів у випадку дистанційного проведення.

Виконання та захист розрахункової роботи (РР)

В межах самостійної роботи студенти виконують згідно варіанту завдання РР. За результатами перевірки у разі правильного виконання роботи студенту призначається дата захисту РР. Захист відбувається у формі співбесіди. Повторні захисти РР не передбачаються.

Заохочувальні бали

Будь-який контрольний вид заходів, окрім лабораторних робіт можна замінити заохочувальними рейтинговими балами, за зайняті призові місця (1,2,3) на олімпіаді з дисципліни. Або підготовкою тез до міжнародних наукових конференцій радіотехнічного профілю англійською мовою та доповідь на конференції: 1 теза – 5 балів (за погодженням із лектором). Участь в олімпіаді оцінюється від 0 до 5 балів залежно від успіхів.

Відвідування занять

Відвідування лекційних, практичних та лабораторних занять — згідно Положенню про організацію освітнього процесу КПІ ім. Ігоря Сікорського. Мінімум раз на два тижні викладач проводить консультації з різних питань кредитного модулю. На консультаціях викладач може надавати допомогу з вивчення матеріалу занять, які були з тих чи інших причин пропущені студентами і мають опановувати їх 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, лабораторних робіт та розрахункових робіт.

Оголошення результатів контрольних заходів

Захист виконаного розділу РР проходить у формі співбесіди з викладачем. Під час захисту студент зобов'язаний вміти пояснити отримані результати та відповісти на головні теоретичні питання за темами розділів. Результати захисту оголошуються студенту у його присутності або в дистанційній формі спілкування та супроводжуються певними коментарями та зауваженнями стосовно помилок (дистанційна форма спілкування в системі Zoom, Telegram з відео та звуком).

Результати за виконане домашнє завдання та виставляються по закінченню її виконання та захисту, не пізніше наступного заняття.

Пропущені контрольні заходи

Результат для студента, який не з'явився на контрольний захід, є нульовим. При пропуску контрольного заходу з поважної причини студенту надається можливість виконати його (написання модульної контрольної роботи) в присутності викладача. Якщо пропуск стався без поважної причини, то питання її відпрацювання вирішується з викладачем при погодженні з керівництвом кафедри. Пропущений залік не зараховується незалежно від причин пропуску; у такому випадку студент отримує запис у відомості «не з'явився», якщо має право допуску до заліку, то повинен скласти залік на додатковій сесії.

Академічна доброчесність

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

Норми етичної поведінки

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

Процедура оскарження результатів контрольних заходів

Студент має можливість підняти будь-яке питання, яке стосується процедури проведення та/або оцінювання контрольних заходів, та очікувати, що воно буде розглянуто згідно із наперед визначеними процедурами.

Студент має право оскаржити результати контрольних заходів, але обов'язково аргументовано, пояснивши, з яким критерієм не погоджується відповідно до оціночного листа та/або зауважень.

Studying the educational component "Electrodynamics and Radio Wave Propagation" consists of listening to a lecture course, participating in practical classes, performing laboratory work, modular tests, and calculation work. Therefore, the main methodological requirement is to coordinate the time for studying the topics of the lecture course with the completion of relevant tasks of other types of training.

All materials necessary for studying the credit module and preparing for the exam are available in the distance learning course "Electrodynamics and Propagation of Radiowaves", access to which is provided to students. The distance learning course contains:

- lecture notes;
- lectures on themes with questions and tasks for self-testing;
- a collection of tasks and a workshop for practical classes;
- a study guide for performing laboratory work;
- recommendations for performing calculation work;
- a list of questions and problems for the examination.

Access to the distance learning course is provided to students at the beginning of the semester, which allows them to plan independent work.

Current quality control of mastering of the study material of the educational component "Electrodynamics and Radio Wave Propagation" takes place in accordance with the rating evaluation system, compiled in such a way as to encourage students to work rhythmically throughout the semester.

Rules for attending classes (both lectures and practical/laboratory classes)

All types of classes are compulsory: lectures, practical classes, and laboratory classes. All laboratory work must be completed. If these classes are missed, they must be made up during consultations or with other groups.

Defense of laboratory work

Laboratory work is defended on the day the laboratory work is completed. The defense takes the form of an interview. A mandatory condition for admission to the defense is the availability of a formalized protocol, which contains the results of the completed laboratory work in the form of corresponding graphs and calculations or screenshots of measurements in the case of remote work.

Completion and defense of the calculation work (CW)

As part of their independent work, students complete the CW assignment according to the option. Based on the results of the check, if the work is completed correctly, the student is assigned a date for the CW defense. The defense takes the form of an interview. Repeated CW defenses are not provided for.

Incentive points

Any type of assessment, except for laboratory work, can be replaced by incentive rating points for winning prizes (1, 2, 3) in a subject competition. Or by preparing abstracts for international scientific conferences on radio engineering in English and presenting a report at the conference: 1 abstract – 5 points (as agreed with the lecturer). Participation in the Olympiad is evaluated from 0 to 5 points depending on success.

Attendance

Attendance at lectures, practical classes, and laboratory classes is in accordance with the Regulations on the Organization of the Educational Process at Igor Sikorsky KPI. At least once every two weeks, the instructor holds consultations on various issues related to the credit module. During consultations, the teacher can provide assistance in studying the material of classes that were missed by students for various reasons and must be mastered independently.

In any case, students are encouraged to attend all types of classes, as they teach theoretical material and develop the skills necessary to complete homework, laboratory work, and computational work.

Announcement of test results

The defense of the completed section of the RR takes place in the form of an interview with the teacher. During the defense, the student must be able to explain the results obtained and answer the main theoretical questions on the topics of the sections. The results of the defense are announced to the student in their presence or remotely and are accompanied by specific comments and remarks regarding errors (remote communication via Zoom, Telegram with video and audio).

The results for the completed homework assignment are posted after its completion and defense, no later than the next class.

Missed tests

The result for a student who did not attend the test is zero. If a student misses a test for a valid reason, they are given the opportunity to complete it (write a module test) in the presence of the teacher. If the absence was without a valid reason, the issue of making up the test is decided with the teacher in consultation with the department management. A missed test is not counted regardless of the reasons for the absence; in this case, the student receives a “did not show up” mark, and if they are eligible to take the test, they must take it during an additional session.

Academic integrity

The policy and principles of academic integrity are defined in Section 3 of the Code of Honor of the National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute.” For more information, please visit: <https://kpi.ua/code>.

Standards of ethical behavior

The standards of ethical conduct for students and employees are defined in Section 2 of the Code of Honor of the National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute.” For more information, visit: <https://kpi.ua/code>.

Procedure for appealing the results of control measures

Students have the opportunity to raise any issue related to the procedure for conducting and/or evaluating control measures and expect it to be considered in accordance with predefined procedures.

Students have the right to appeal the results of assessment measures, but must provide a reasoned explanation of which criteria they disagree with according to the assessment sheet and/or comments.

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 = 70 балів.

Розмір екзаменаційної шкали РЕ = 30 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 1
- задовільне знання теоретичного матеріалу за темою роботи 0,5
- незадовільне знання теоретичного матеріалу за темою роботи 0

Максимальна сума балів за готовність до 6 лабораторних робіт 6

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

- повна відповідь (не менше 80% потрібної інформації) 4
- неповна відповідь (не менше 60% потрібної інформації) 2
- незадовільна відповідь (менше 60% потрібної інформації) 0

Максимальна сума балів за захист 6 лабораторних робіт 24

3. Виконання кожного тестового завдання на двох МКР дає такі рейтингові бали:

- правильна відповідь 1
- неправильна відповідь 0

Максимальна сума балів за виконання двох МКР 20

4. 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: $РС = 6 + 24 + 20 + 20 = 70$ балів.

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 навчальної дисципліни. Кожне теоретичне питання оцінюється максимум у 10 балів. Задача оцінюється у 10 балів.

Відповідь на кожне теоретичне питання надає такі бали:

- повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) 10
- достатньо повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації або незначні неточності) 7
- 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 10
- правильний хід рішення, наявність незначних помилок 7
- частковий розв'язок задачі, наявні значні помилки 4
- незадовільний або відсутній розв'язок задачі 0

Максимальний РЕ дорівнює: $РЕ = 10 + 10 + 10 = 30$ 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

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)

Питання до екзамену із дисципліни «Електродинаміка та поширення радіохвиль»

1. Об'єкт вивчення і області застосування електродинаміки. Діапазон надвисоких частот. Особливості НВЧ полів. Переваги діапазону НВЧ, його застосування.
2. Скалярні та векторні поля. Градієнт. Коефіцієнти Ламе. Дивергенція. Ротор. Теорема Остроградського-Гаусса. Теорема Стокса. Оператор Гамільтона.
3. Оператор Гамільтона. Оператор Лапласа. Теореми Гріна. Вихрове поле. Потенціальне поле. Основні тотожності векторного аналізу.
4. Електричний заряд і струм, їх щільності. Основні властивості та закони для електричних зарядів і струмів.

Електричне, магнітне поля. Рівняння Максвелла.

5. Рівняння Максвелла в інтегральній, диференціальній та комплексній формах. Фізичний зміст рівнянь Максвелла. Висновки з рівнянь Максвелла.
6. Поляризованість. Вектор електричної індукції. Намагніченість. Магнітна індукція. Питома провідність. Матеріальні рівняння. Класифікація середовищ.
7. Матеріальні рівняння. Види діелектриків і магнетиків. Поділ на провідники, напівпровідники та діелектрики. Класифікація середовищ за їх параметрами.
8. Граничні умови на межі поділу двох середовищ для нормальних і тангенціальних складових електромагнітного поля.
9. Граничні умови на межі поділу ідеальних діелектрика та провідника. Особливості електромагнітного поля на поверхні ідеального провідника.
10. Особливості гармонічних коливань і хвиль. Метод комплексних амплітуд. Рівняння Максвелла в комплексній формі. Комплексні проникності, кути втрат.
11. Рівняння балансу миттєвої потужності. Теорема Пойнтинга в диференціальній, інтегральній та комплексних формах. Вектор Пойнтинга, його фізичний зміст.
12. Енергетичні характеристики гармонічних електромагнітних полів. Рівняння балансу комплексної потужності. Висновки з рівняння балансу потужності.
13. Класифікація задач електродинаміки. Задача Діріхле. Задача Неймана. Змішана крайова задача. Принцип суперпозиції.
14. Внутрішні задачі електродинаміки. Приклади внутрішніх задач. Теорема єдиності розв'язку внутрішньої задачі електродинаміки.
15. Зовнішні задачі електродинаміки. Теорема єдиності розв'язку зовнішньої задачі електродинаміки. Умови випромінювання Зоммерфельда.
16. Лема Лоренца. Теорема взаємності, її фізичний зміст і застосування.
17. Принцип переставної двоїстості рівнянь Максвелла. Лема Лоренца і теорема взаємності з урахуванням магнітних струмів.
18. Хвильові рівняння для електричного і магнітного полів. Рівняння Гельмгольца.
19. Електродинамічні потенціали електричного і магнітного типів. Калібрування Лоренца. Хвильові рівняння для електродинамічних потенціалів.
20. Вектори Герца. Хвильові рівняння та рівняння Гельмгольца для електродинамічних потенціалів і векторів Герца. Градієнтна інваріантність.
21. Аналітичні вирази для електродинамічних потенціалів. Функція Гріна.
22. Статичні та стаціонарні поля, рівняння Максвелла для них. Поняття ємності та індуктивності, їх приклади. Методи розрахунку ємностей та індуктивностей.
23. Визначення хвилі. Фронт хвилі. Типи хвиль. Однорідна плоска електромагнітна хвиля, структура її поля. Довжина хвилі. Коефіцієнти фази та загасання.
24. Глибина проникнення хвилі. Фазова швидкість. Дисперсія хвиль. Груповая швидкість. Характеристичний опір. Граничні умови Щукіна-Леонтовича.
25. Поляризація електромагнітних хвиль. Види поляризації, їх особливості та властивості. Коефіцієнт еліптичності. Області застосування різних поляризацій.
26. Нормальне падіння плоскої електромагнітної хвилі на межу поділу ідеальних діелектрика та провідника. Коефіцієнти відбиття за полями $\vec{E}$ та $\vec{H}$.
27. Нормальне падіння електромагнітної хвилі на межу поділу двох ідеальних діелектриків. Коефіцієнти відбиття та проходження. Узгоджені середовища.
28. Похиле падіння плоскої хвилі на межу поділу ідеальних діелектрика та провідника. Паралельна поляризація. Режими за напрямками. Е- і ТЕМ-хвиля.
29. Похиле падіння плоскої хвилі на межу поділу ідеальних діелектрика та провідника. Перпендикулярна поляризація. Режими за напрямками. Н-хвилі.
30. Похиле падіння плоскої електромагнітної хвилі на межу поділу двох ідеальних діелектриків. Паралельна поляризація. Закони Снелла. Формули Френеля.
31. Падіння електромагнітної хвилі паралельної поляризації в оптично більш/менш щільне середовище. Явища повного проходження і відбиття. Застосування.
32. Похиле падіння плоскої електромагнітної хвилі на межу поділу двох ідеальних діелектриків. Перпендикулярна поляризація. Закони Снелла. Формули Френеля.
33. Падіння електромагнітної хвилі перпендикулярної поляризації в оптично більш/менш щільне середовище. Повне внутрішнє відбиття. Застосування.
34. Поширення електромагнітних хвиль у гіротропних середовищах. Тензори проникностей. Ефект Фарадея. Застосування ефекту Фарадея в техніці.
35. Лінії передачі, їх класифікація, основні параметри та області застосування.
36. Види хвильоводів. Типи хвиль у хвильоводах, їх особливості та застосування.

37. Параметри хвиль у хвилеводах, їх розрахунок і методи вимірювання.
38. Хвилі типу Т в лініях передачі, їх властивості й основні параметри.
39. Хвильовий опір ліній передачі. Методи його розрахунку і вимірювання.
40. Хвилі типів Е і Н. Їх властивості та параметри, методи їх вимірювання.
41. Двопровідна лінія передачі: конструкція, основний тип хвилі, структура полів і струмів. Параметри двопровідної лінії передачі, області застосування.
42. Коаксіальна лінія передачі: конструкція, типи хвиль, структура полів і струмів. Параметри коаксіальної лінії передачі, області застосування.
43. Смужкові лінії передачі: конструкції, основний і вищі типи хвиль, структура полів і струмів. Параметри смужкових ліній передачі, області застосування.
44. Прямокутний хвилевід. Критичні частоти. Поля і поверхневі струми в прямокутному хвилеводі. Основна хвиля, її параметри, способи збудження.
45. Круглий хвилевід. Критичні частоти. Поля і поверхневі струми в круглому хвилеводі. Основна хвиля круглого хвилеводу, її параметри.
46. Способи збудження хвилеводів, їх особливості, переваги та недоліки.
47. Класифікація об'ємних резонаторів. Їх параметри і методи їх вимірювання.
48. Резонансна частота. Добротність. Методи їх розрахунку та вимірювання. Способи підвищення добротності надвисокочастотних резонаторів.
49. Квазістаціонарні резонатори: конструкції, структура полів і поверхневих струмів, основні параметри, способи збудження, області застосування.
50. Коаксіальний резонатор: конструкція, основне колювання, структура полів і струмів, параметри, способи збудження, області застосування.
51. Прямокутний резонатор: конструкція, основне колювання, структура полів і струмів, параметри, способи збудження, області застосування.
52. Циліндричний резонатор: конструкція, основне колювання, структура полів і струмів, параметри, способи збудження, області застосування.

Задачі до екзамену із дисципліни «Електродинаміка та поширення радіохвиль»

1. Довести тотожність векторного аналізу $\operatorname{div} \operatorname{rot} \vec{A} \equiv 0$ в ортогональній криволінійній системі координат, де $\vec{A}$ — довільне векторне поле.
2. Довести тотожність векторного аналізу $\operatorname{rot} \operatorname{grad} U \equiv 0$ в ортогональній криволінійній системі координат, де U — довільне скалярне поле.
3. Довести тотожність $\operatorname{div} (u\vec{A}) = u \operatorname{div} \vec{A} + \vec{A} \cdot \operatorname{grad} u$ в ортогональній криволінійній системі координат, де $u, \vec{A}$ — довільні скалярне і векторне поля.
4. Довести тотожність векторного аналізу $\operatorname{div} (\vec{A} \times \vec{B}) = \vec{B} \cdot \operatorname{rot} \vec{A} - \vec{A} \cdot \operatorname{rot} \vec{B}$ у декартовій системі координат, де $\vec{A}$ та $\vec{B}$ — довільні векторні поля.
5. Довести теорему Гріна у другій скалярній формі:

$$\int_V (u \nabla^2 v - v \nabla^2 u) dV = \oint_S (u \operatorname{grad} v - v \operatorname{grad} u) d\vec{S}.$$
6. Довести теорему Гріна у другій векторній формі:

$$\int_V (\vec{B} \cdot \operatorname{rot} \operatorname{rot} \vec{A} - \vec{A} \cdot \operatorname{rot} \operatorname{rot} \vec{B}) dV = \oint_S (\vec{A} \times \operatorname{rot} \vec{B} - \vec{B} \times \operatorname{rot} \vec{A}) d\vec{S}.$$
7. Вивести з рівнянь Максвелла в комплексній формі формули зв'язку поперечних і поздовжніх компонент поля плоскої хвилі, яка поширюється вздовж осі z .
8. Вивести формулу для хвильового опору коаксіальної лінії передачі із радіусами провідників a і b . Лінія заповнена матеріалом з відносними проникностями ϵ, μ .
9. Вивести частотні залежності хвильового числа $\beta(\omega)$ і коефіцієнта загасання $\alpha(\omega)$ плоскої електромагнітної хвилі в немагнітному діелектрику із втратами.
10. Вивести формулу залежності групової швидкості плоскої електромагнітної хвилі в немагнітному діелектрику з втратами від частоти $\nu_{\text{гп}}(f)$.
11. Довести, що в середовищі з втратами швидкість поширення енергії плоскої електромагнітної хвилі дорівнює її фазовій швидкості на будь-якій частоті.
12. Дві плоскі електромагнітні хвилі з комплексними амплітудами електричних полів $\vec{E}_+ = A e^{i\varphi_A} (\vec{e}_x + i\vec{e}_y)$; $\vec{E}_- = B e^{i\varphi_B} (\vec{e}_x - i\vec{e}_y)$ поширюються вздовж осі z . Визначити коефіцієнт еліптичності і кут нахилу відносно осі x поляризаційного еліпса електромагнітної хвилі, яка є суперпозицією даних хвиль.
13. Дві плоскі електромагнітні хвилі поширюються вздовж осі z . Комплексні амплітуди їх електричних полів

$\vec{E}_1 = Ae^{i\varphi_A}\vec{e}_x$; $\vec{E}_2 = Be^{i\varphi_B}\vec{e}_y$. Визначити коефіцієнт еліптичності поляризаційного еліпса суперпозиції даних хвиль.

14. Плоска електромагнітна хвиля падає по нормалі із повітря на пластину із діелектрика з параметрами ϵ , μ товщиною l . Визначити, на яких частотах пластина є прозорою. Побудувати залежність коефіцієнта відбиття від частоти.
15. Визначити відносну діелектричну проникність і товщину покриття на поверхні діелектрика з відносною проникністю ϵ , яке забезпечує відсутність відбиття електромагнітної хвилі з частотою f_0 при нормальному падінні із повітря.
16. Плоска електромагнітна хвиля з частотою f_0 падає по нормалі із повітря на пластину із діелектрика з параметрами ϵ , μ . Визначити, при якій товщині l пластина є прозорою. Побудувати залежність коефіцієнта відбиття від частоти.
17. На поверхні діелектрика з відносною проникністю $\epsilon > 2$ нанесено діелектричне покриття товщиною l із відносною проникністю $\epsilon/2$. На цю структуру з повітря по нормалі падає плоска електромагнітна хвиля з довжиною λ_0 . При яких l коефіцієнт відбиття є мінімальним? Чому дорівнює його мінімальне значення?
18. При нормальному падінні плоскої електромагнітної хвилі з вакууму в немагнітний діелектрик коефіцієнт відбиття дорівнює $\dot{r} = \Gamma \cdot e^{i\varphi_r}$. Визначте відносну діелектричну проникність ϵ і тангенс кута діелектричних втрат $\tan \delta$.
19. Розв'язати рівняння Гельмгольца для поздовжньої складової магнітного поля основної хвилі прямокутного хвильоводу. Знайти і зобразити розподіли полів.
20. Знайти смугу частот однохвильового режиму роботи прямокутного хвильоводу перерізом $a \times 0,4a$. Побудувати графіки $v_{\phi}(f)$ і $v_{\text{гр}}(f)$ в межах цієї смуги частот. Зобразити їх зміну при заповненні хвильоводу діелектриком із проникністю ϵ .
21. Критична довжина основної хвилі прямокутного хвильоводу дорівнює $\lambda_{\text{кр}}$, а для хвилі E_{11} вона становить $L_{\text{кр}}$. Знайти розміри поперечного перерізу хвильоводу.
22. Хвиля H_{10} поширюється у прямокутному хвильоводі перерізом $a \times 0,4a$. Відомо, що $\lambda_{\text{хв}} = 2a$. Знайти поперечні координати поздовжніх площин, у яких вектор напруженості магнітного поля має колову поляризацію. Зобразити ці площини.
23. Коаксіальна лінія з відношенням діаметрів $D_1/d_1 = e$ і відносною діелектричною проникністю заповнення $\epsilon_1 = 9$ з'єднана з лінією з параметрами $D_2/d_2 = e^2$, $\epsilon_2 = 4$. Знайти коефіцієнт відбиття і передачі за потужністю у місці цього з'єднання.
24. Коаксіальна лінія з відношенням діаметрів $D_1/d_1 = e^2$ і відносною діелектричною проникністю заповнення $\epsilon_1 = 9$ з'єднана з лінією з параметрами $D_2/d_2 = e$, $\epsilon_2 = 4$. Знайти коефіцієнт відбиття і передачі за потужністю у місці цього з'єднання.
25. Визначте амплітуди електричного та магнітного полів і середнє значення вектора Пойнтинга на відстані r від ізотропного випромінювача потужністю P .

Опис матеріально-технічного та інформаційного забезпечення дисципліни (освітнього компонента)

Основне обладнання: Ноутбук або стаціонарний комп'ютер.

Обладнання для лабораторних робіт: 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, атенуаторами, фазозсувачами, вольтметрами, коаксіальними та хвильовідними лініями передачі. Загалом у лабораторіях міститься 7 макетів — по одному на кожну виконувану роботу. Лабораторні роботи виконуються за такими темами: 1) Дослідження поляризації електромагнітних хвиль; 2) Дослідження явищ, що виникають при поширенні електромагнітних хвиль в анізотропних середовищах; 3) Дослідження електромагнітних хвиль над провідною площиною; 4) Дослідження дисперсних характеристик основних хвиль у прямокутному хвильоводі і коаксіальній лінії передачі; 5) Дослідження структури поля в металевих хвильоводах і резонаторах; 6) Дослідження дифракції електромагнітних хвиль; 7) Дослідження випромінювання електричного і магнітного диполів.

Програмне забезпечення: Дистанційне навчання здійснюється за допомогою платформи Zoom.

Дистанційний курс на Платформі «Сікорський»: <https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=642>.

Main equipment: Laptop or desktop computer.

Equipment for laboratory works: Laboratory works on the course "Electrodynamics and Propagation of Radiowaves" are carried out in two laboratories of the Radio Engineering Faculty: 320-17, 326-17. The laboratories are equipped with generators of microwave range oscillations, horn and dipole antennas, resonators, measuring lines, rotary pillar devices, attenuators, phase shifters, voltmeters, coaxial and waveguide transmission lines. In total, the

laboratories contain 7 modules (one for each work performed). Laboratory works are carried out on the following themes: 1) Research on the polarization of electromagnetic waves; 2) Research on the phenomena that arise during the propagation of electromagnetic waves in anisotropic media; 3) Research on electromagnetic waves above a conducting plane; 4) Study of the dispersion characteristics of fundamental waves in a rectangular waveguide and coaxial transmission line; 5) Study of the field structure in metallic waveguides and resonators; 6) Study of the diffraction of electromagnetic waves; 7) Research on the radiation of electric and magnetic dipoles.

Software: Distance learning is carried out using the Zoom platform.

Distance learning course on the “Sikorsky” Platform: <https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=642>.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Склав доцент кафедри радіоінженерії, канд. техн. наук, доц. Пільтяй Степан Іванович;

Ухвалено кафедрою радіоінженерії (протокол засідання кафедри № 08/2025 від 25.06.2025);

Погоджено навчально-методичною комісією радіотехнічного факультету (протокол засідання НМК РТФ № 06/2025 від 26.06.2025).