



ЕЛЕКТРОДИНАМІКА

Робоча програма навчальної дисципліни

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Перший (бакалаврський)</i>
Галузь знань	<i>15 Автоматизація та приладобудування¹</i>
Спеціальність	<i>153 «Мікро- та наносистемна техніка»</i>
Освітня програма	<i>Мікро- та наноелектроніка</i>
Статус дисципліни	<i>Нормативна</i>
Форма навчання	<i>денна</i>
Рік підготовки, семестр	<i>3 курс, осінній семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>5 кредитів ЕКТС</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>екзамен</i>
Розклад занять	
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про викладачів	Лекції: к.т.н., асис. каф. ЕІ Костянтин САВІН, savin-ee@iit.kpi.ua, Практичні заняття: к.т.н., доц. каф. ЕІ Тетяна САУРОВА, saurowa-ee@iit.kpi.ua
Розміщення курсу	https://classroom.google.com/c/NjE5NjQyMDQ0MjI4

Програма навчальної дисципліни

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

Кредитний модуль «Електродинаміка» є обов'язковим (нормативним) компонентом освітньо-професійної програми підготовки здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти «Електронні мікро- і наносистеми та технології» зі спеціальності 153 «Мікро- та наносистемна техніка», відноситься до циклу професійної підготовки; вивчається у 5 семестрі. Обсяг дисципліни складає 5 кредитів ЕКТС, семестровий контроль – екзамен.

Предмет навчальної дисципліни – класична електродинаміка та принципи її використання для формулювання практичних задач в технічних засобах електроніки. Особливістю методу викладання матеріалу в даному курсі є шлях від загального до часткового – від системи рівнянь Максвелла до розгляду прикладів, що формують основні моделі теорії електромагнітного поля, що використовуються в техніці.

Важливою особливістю підбору матеріалу курсу є спрямованість на підготовку фахівців з мікро- та наносистемної електронної техніки. Існуючі підручники призначені зазвичай для підготовки фахівців з радіотехніки і зв'язку і розглядають електромагнітні поля у провідних і діелектричних середовищах, а напівпровідникові матеріали, найбільш поширені в електронній техніці, залишилися поза полем зору. Крім того, в цьому курсі немає необхідності розглядати питання, пов'язані з поширенням електромагнітних хвиль в атмосфері і їх дифракцією, які необхідні фахівцям з радіотехніки і зв'язку. У той же час для фахівців з електронних напрямків необхідно закласти основи теорії ліній передачі електромагнітної енергії, методів розрахунку полів в електронних компонентах, принципів моделювання компонентів електронних кіл, у

тому числі з розподіленими параметрами, що входять до змісту дисциплін з теорії електронних кіл, напівпровідникової електроніки, аналогової схемотехніки та інших.

Мета курсу, ознайомити студентів з фундаментальними закономірностями макроскопічної електродинаміки, які базуються на системі рівнянь електромагнетизму, і сприяти створенню певного фізичного світогляду на багату різноманітними явищами дійсність, сформуванню набір найпростіших фізичних моделей, за допомогою яких можна аналізувати більш складні ситуації, що зустрічаються в практиці фахівців з електронної техніки.

Ця мета досягається шляхом формування у студентів загальних та фахових компетентностей:

- ЗК1: здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях;
- ЗК2: знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності;
- ЗК6: здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями;
- ЗК11: здатність оцінювати та забезпечувати якість виконуваних робіт;
- ФК1: здатність використовувати знання і розуміння наукових фактів, концепцій, теорій, принципів і методів для проектування та застосування мікро- та наносистемної техніки;
- ФК3: здатність використовувати математичні принципи і методи для проектування та застосування мікро- та наносистемної техніки;
- ФК5: здатність ідентифікувати, класифікувати, оцінювати і описувати процеси у мікро- та наносистемній техніці за допомогою побудови і аналізу їх фізичних і математичних моделей;
- ФК8: здатність визначати та оцінювати характеристики та параметри матеріалів мікро- та наносистемної техніки, аналогових та цифрових електронних пристроїв, мікропроцесорних систем;
- ФК13: здатність ефективно вибирати належні напрями і відповідні методи для розв'язування задач моделювання, проектування та конструювання в області мікроелектронних інформаційних систем.

Студенти після засвоєння навчальної дисципліни мають продемонструвати такі програмні результати навчання:

- ПРН1: застосовувати знання принципів дії пристроїв і систем мікро- та наносистемної техніки при їхньому проектуванні та експлуатації;
- ПРН2: застосовувати знання і розуміння математичних методів для розв'язання теоретичних і прикладних задач мікро- та наносистемної техніки;
- ПРН3: застосовувати знання і розуміння фізики, відповідні теорії, моделі та методи для розв'язання практичних задач синтезу пристроїв мікро- та наносистемної техніки;
- ПРН4: оцінювати характеристики та параметри матеріалів пристроїв мікро- та наносистемної техніки, знати та розуміти основи твердотільної та оптичної електроніки, наноелектроніки, електротехніки, аналогової та цифрової схемотехніки, мікропроцесорної техніки.

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

Даній дисципліні мають передувати курси з математики та фізики, де вивчаються основи теорії електромагнетизму, дисципліни «Обчислювальна математика», «Напівпровідникова електроніка», «Матеріали і компоненти мікро- та наносистемної техніки», «Основи квантової теорії», «Теорія електронних кіл». На результатах навчання з даної дисципліни базуються «Курсова робота з електродинаміки» та ряд вибіркових курсів бакалаврської підготовки.

3. Зміст навчальної дисципліни

ВСТУП. Основні визначення, макроскопічні характеристики, рівняння середовища.

1. ФУНДАМЕНТАЛЬНІ РІВНЯННЯ ЕЛЕКТРОДИНАМІКИ

- 1.1. Система рівнянь Максвелла, її форми, струм зміщення.
- 1.2. Рівняння неперервності, його форми.
- 1.3. Енергія електромагнітного поля: рівняння балансу енергії, вектор Пойнтинга.

1.4. *Граничні умови для електричного і магнітного поля: їх вигляд, важливі приклади.*

2. СТАТИЧНІ ТА СТАЦІОНАРНІ ПОЛЯ

2.1. *Рівняння електростатики: типи задач, самоузгоджені задачі, чисельні методи.*

2.2. *Магнітостатика, характерні задачі та рівняння.*

2.3. *Квазістаціонарні поля та закони теорія кіл із зосередженими параметрами.*

3. КОЛА З РОЗПОДІЛЕНИМИ ПАРАМЕТРАМИ

3.1. *Телеграфні рівняння, хвильовий характер їх розв'язку.*

3.2. *Стоячі хвилі, розподіл амплітуд струму, напруги і опору вздовж лінії.*

3.3. *Характерні режими роботи лінії, принципи узгодження.*

4. ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ ХВИЛЬОВІ ПРОЦЕСИ

4.1. *Хвильові рівняння та хвильові функції.*

4.2. *Плоска електромагнітна хвиля у необмеженому середовищі.*

4.3. *Поляризація хвиль.*

4.4. *Параметри електромагнітної хвилі у різних середовищах.*

5. ХВИЛІ БІЛЯ ГРАНИЦІ РОЗДІЛУ СЕРЕДОВИЩ

5.1. *Нормальне падіння хвиль на границю, відбивання і проходження хвиль.*

5.2. *Прокондження хвилі через шар речовини.*

5.3. *Похиле падіння хвиль на границю розділу: закони Снелліуса, формули Френеля, кут Брюстера, повне внутрішнє відбиття.*

5.4. *Хвилі над металевою поверхнею, структура полів, дзеркальний хвилевід.*

6. ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ НАПРЯМНІ СИСТЕМИ – ХВИЛЕВОДИ

6.1. *Загальні закономірності: дисперсія у хвилеводах, хвилі без дисперсії, позамежний хвилевід.*

6.2. *Типи хвиль, хвилеводні моди, одномодовий діапазон.*

6.3. *Види хвилеводів: прямокутні, коаксіальні, діелектричні, смужкові.*

6.4. *Схемні моделі хвилеводів.*

7. ФОТОННІ КРИСТАЛИ

7.1. *Загальні властивості багат шарових періодичних структур.*

7.2. *Особливості закону дисперсії: аномальна дисперсія.*

7.3. *Зв'язані хвилі.*

7.4. *Дефекти періодичної структури: стоячі хвилі.*

7.5. *Метод аналізу. Хвильові матриці.*

7.6. *Матриці передачі.*

7.7. *Матриці розсіювання.*

7.8. *Застосування фотонних кристалів: напрямні системи, вимірювання електрофізичних характеристик матеріалів.*

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова

1. Москалюк В. О., Саурова Т.А. *Теорія поля, підручник для студ. спеціальності 153 «Мікро- та наносистемна техніка», вид. 2-е, допов. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2019. – 256 с.*

2. Пільтяй С.І. *Електродинаміка та поширення радіохвиль: Збірник задач [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студентів спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка» / С. І. Пільтяй; КПІ ім. Ігоря Сікорського. — Електронні текстові дані (1 файл 2,37 Мбайт). — Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. — 88 с.*

3. Жданов, В. І. *Класична електродинаміка. Збірник задач [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів спеціальностей 105 «Прикладна фізика та наноматеріали» та 113 «Прикладна математика» / В. І. Жданов, С. М. Пономаренко, В. Б. Долгошей ; КПІ ім. Ігоря*

Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 570 Кбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 98 с.

Додаткова

1. Багацька О.В. Електродинаміка. Теорія поля : навчальний посібник / О.В. Багацька, О.Ю. Бутрим, М.М. Колчигін, О.О. Третьяков, С.М. Шульга – Х.: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2008. – 132 с.
2. Пілінський В. В. Технічна електродинаміка та поширення радіохвиль [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів напряму підготовки 6.050903 «Телекомунікації» / В. В. Пілінський ; Нац. техн. ун-т України «Київ. політехн. ін-т». – Електронні текстові дані (1 файл: 3,94 Мбайт). – Київ : Кафедра, 2014. – 336 с.
3. Griffiths, D. J. Introduction to Electrodynamics. – 4th Ed. – Addison-Wesley, 2012. – 605 p. – ISBN 978-0-321-85656-2.
4. Fleisch D. A Student's Guide to Maxwell's Equations. – Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2008. – 142 p. – ISBN 978-0-521-70147-1.
5. Електронні ресурси для анімаційних вправ з параметрами та особливостями хвильових процесів у довгих лініях: комп'ютерний фільм *stwave.exe* або *teorpole.exe*, а в розділі хвилеводи – анімацію «хвилевід.gif».

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Розподіл навчального часу

Семестри	всього	лекції	Практ.	самостійна робота	Семестрова атестація
V	150	54	18	78	екзамен

6. Самостійна робота студента

Запланований на самостійну роботу ліміт часу в обсязі 78 годин

Для самостійного вивчення пропонуються такі питання:

Приклади розрахунку електростатичних полів: поле сітки, електростатичне екранування (розділення змінних), заряд над металевою поверхнею (метод дзеркальних відображень), поле просторового заряду у вакуумному діоді (управління струмом, закон степеня $3/2$), екранування поля поверхнею (дебаєва довжина).

Приклади розрахунку стаціонарних магнітних полів: циліндричний і стрічковий електронний потік, тороїдальний і довгий соленоїд.

Використання узгоджувальних елементів.

Діелектричні дзеркала.

Кругові діаграми коефіцієнта відбивання і повних опорів.

Параметри хвилі у різних середовищах.

Способи збудження хвилеводів.

Вплив втрат на конфігурацію полів у хвилеводах.

Розрахунок енергетичних характеристик хвилеводу.

Розрахунок частотних характеристик фотонних кристалів.

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

- відвідування занять (лекцій, практик): обов'язкове;
- правила поведінки на заняттях: відключення телефонів;
- політика академічної доброчесності.
- інші вимоги, що не суперечать законодавству України та нормативним документам Університету.

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

Семестровий контроль: екзамен, захист курсової роботи

Рейтинг студента з дисципліни складається з балів, що він отримує за:

- 1) 3 відповіді на практичних заняттях;
- 2) 5 домашні контрольні роботи
- 3) 5 домашні самостійних завдань та вправ;
- 4) відповідь на екзамені.

Система рейтингових (вагових) балів та критерії оцінювання

Робота на практичних заняттях

Ваговий бал – 5. Максимальна кількість балів на всіх практичних заняттях дорівнює 5 балів x 3 відповіді = 15 балів.

Модульний контроль

Ваговий бал – 5. Максимальна кількість балів за всі контрольні роботи дорівнює 5 балів x 5KP = 25 балів.

Самостійні домашні завдання та вправи

Ваговий бал – 4. Максимальна кількість балів за всі роботи дорівнює 4 балів x 5 = 20 балів.

Штрафні бали за:

- відсутність на практичному занятті без поважних причин – 1 бал
- несвоєчасне виконання домашньої розрахункової роботи – 1 бал

Заохочувальні бали за:

- активну участь на практичних заняттях +1 бал;
 - виконання завдань із удосконалення дидактичних матеріалів з дисципліни +1 бал.
- Сума як штрафних, так і заохочувальних балів не має перевищувати **0,1 R_c** = 6 балів

Розрахунок шкали (R) рейтингу:

Розмір шкали рейтингу $RD = R_c + R_E = 100$ балів

Розмір стартової шкали $R_c = 15 + 25 + 20 = 60$ бали.

Розмір екзаменаційної шкали $R_E = 40$ балів.

Умови позитивної проміжної атестації

Для отримання «зараховано» з першої проміжної атестації (8 тиждень) студент повинен мати не менше ніж **10** балів (на початок 8 тижня згідно з календарним планом контрольних заходів «Ідеальний» студент має отримати 20 балів).

Для отримання «зараховано» з другої проміжної атестації (14 тиждень) студент повинен мати не менше ніж **20** балів (на початок 14 тижня згідно з календарним планом контрольних заходів «Ідеальний» студент має отримати 46 балів).

Умови допуску до екзамену є:

- залік з курсової роботи, зарахування всіх домашніх робіт;
- стартовий рейтинг (r_c) студента - не менше 50 % від R_c , тобто 30 бал.

4. Екзаменаційна робота (Виходячи з розміру шкали $R_E = 40$ балів)

На екзамені студенти відповідають на питання усно або виконують письмову контрольну роботу. Кожне завдання містить три теоретичних та одне практичне. Кожне питання оцінюється у 10 балів.

Критерії екзаменаційного оцінювання

Система оцінювання теоретичних питань:

- «відмінно», повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) - 10-9 балів;
- «добре», достатньо повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації, або незначні неточності) - 8-7 балів;
- «задовільно», неповна відповідь (не менше 60% потрібної інформації та деякі помилки) – 6-4 балів;
- «незадовільно», незадовільна відповідь – 0 балів.

Система оцінювання практичного запитання:

- «відмінно», повне безпомилкове розв'язування завдання – 10 балів;
- «добре», повне розв'язування завдання з несуттєвими неточностями – 8 балів;

- «задовільно», завдання виконане з певними недоліками – 4 балів;
- «незадовільно», завдання не виконане – 0 балів.

Сума стартових балів (r_c) і балів за екзаменаційну контрольну роботу (r_e) переводиться до екзаменаційної оцінки (RD) згідно з таблицею:

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

Перелік питань для оперативного контролю та питань, які виносяться на семестровий контроль, наведено у додатку до силабусу.

Лекції проводяться з використанням презентації.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено доц. к.т.н. Сауровою Т. А., асис. к.т.н., Савіним К.Г.

Ухвалено кафедрою електронної інженерії (протокол №31 від 21.6.23)

Погоджено Методичною комісією факультету (протокол № 06/23 від 29.6.23)