



Ф-КФ-02-3-17

Міністерство освіти і науки України

**Харківський національний технічний університет
сільського господарства ім. Петра Василенка
Навчально-науковий інститут
енергетики та комп'ютерних технологій**

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Директор ННІ ЕКТ

Мороз О. М.

“30” ___ червня 2016 року

Кафедра «Технотроніки та теоретичної електротехніки»

РОБОЧА ПРОГРАМА

третього наукового рівня навчання

НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

**«ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ ПОЛЯ ТА МЕТОДИ ЇХ
РОЗРАХУНКУ»**

(шифр і назва навчальної дисципліни)

Спеціальність _____ 163 Біомедична інженерія

Галузь знань _____ 16 Хімічна інженерія

Спеціалізація _____

«Погоджено»

Завідувач кафедри ТТЕ

Косуліна Н. Г.

30 червня 2016 р.

Харків – 2016 рік

Робоча програма

**ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ ПОЛЯ ТА
МЕТОДИ ЇХ РОЗРАХУНКУ**

(назва навчальної дисципліни)

За освітньо-
науковою
програмою163 Біомедична інженерія доктора
філософія

(шифр і назва)

Інститут

Навчально-науковий інститут
енергетика та комп'ютерних технологій

(назва інституту, факультету)

Розробники: д.т.н., проф. Косуліна Н. Г.,
к.т.н., доц. Ляшенко Г. А.

Пререквізити – базові знання з дисциплін: Вища математика, ТОЕ, Електроніка, Математичне моделювання.

Метою викладання дисципліни, що зазначена є вивчення здобувачами теоретичних основ та методів розрахунку електромагнітних полів та процесів в біомедичних приладах та системах, які застосовуються при вивчанні, розрахунках та при проектуванні багатьох біомедичних пристроїв.

Завданнями дисципліни є:

- вивчення теоретичних основ розрахунку електромагнітних полів в біомедичних приладах та системах;
- вивчення методів розрахунку електромагнітних полів різних елементів в біомедичних приладах та системах;
- засвоєння теоретичних основ та практичних навичок отримання низки електромагнітних параметрів в біомедичних приладах та системах на основі розрахунку магнітних та електричних полів.

повинні знати: розв'язання фундаментальних рівнянь електродинаміки, що формують основні моделі теорії електромагнітного поля, які використовуються в електротехніці; розповсюдження електромагнітного поля в провідних, діелектричних середовищах та напівпровідникових матеріалах; питання, що пов'язані з поширенням електромагнітних хвиль в атмосфері і їх дифракцією; основи теорії ліній передачі

електромагнітної енергії, принципи моделювання „холодних” компонентів кіл, у тому числі з розподіленими параметрами, тощо; особливості фізичних процесів та характеристик, що супроводжують роботу електричних пристроїв.

повинні вміти: аналізувати процеси в електроенергетичному, електротехнічному та електромеханічному обладнанні і відповідних комплексів і систем, вдосконалювати навички роботи з сучасним обладнанням та програмним забезпеченням при виконанні розрахунків режимів роботи електротехнічного, електроенергетичного та електромеханічного обладнання, відповідних комплексів та систем, використовувати програмні комплекси для дослідження електромагнітного поля.

Компетентності – ЗК12. Здатність математичного моделювання та аналіз моделей. ЗК15. Здатність здійснювати теоретичний аналіз процесу взаємодії інформаційних електромагнітних випромінювань з біологічними об'єктами. ФК7. Здатність створювати, удосконалювати та застосовувати математичні моделі біофізичних явищ та процесів з використанням апарату математичної фізики.

Результати навчання – ПРН5. Вміти досліджувати вплив електромагнітних полів на біологічні об'єкти та проводити розрахунки електромагнітних полів та аналіз математичних моделей пов'язаних з фізичними факторами впливу на біологічні об'єкти та вміти використовувати математичні моделі, пов'язаних з фізичними факторами впливу на біологічний об'єкти. ПРН6. Вміти проводити теоретичний аналіз процесу взаємодії інформаційних електромагнітних випромінювань з біологічними об'єктами.

Робоча програма навчальної дисципліни схвалена на засіданні робочої групи спеціальності 163 Біомедична інженерія на здобуття третього освітнього рівня доктора філософії

Протокол № 1 від 01.03. 2016 року.

Робоча програма навчальної дисципліни схвалена на засіданні кафедри технотороніки та теоретичної електротехніки.

Протокол № 12 від 30.06. 2016 року.

Подовжено термін дії до:

На засіданні робочої групи Phd PBO (доктора філософії) спеціальності 163 Біомедична інженерія: «30» травня 2017 р.
Протокол № 5 від 30. 05. 2017 року.

На засіданні кафедри біомедичної інженерії та теоретичної електротехніки:
«23» червня 2017 р. Протокол № 13 від 23. 06. 2017 року.

завідувач кафедри БМІТЕ _____ Косуліна Н. Г.

На засіданні робочої групи Phd PBO (доктора філософії) спеціальності 163 Біомедична інженерія: «25» червня 2018 р.
Протокол № 4 від 25. 06. 2018 року.

На засіданні кафедри біомедичної інженерії та теоретичної електротехніки:
«26» червня 2018 р. Протокол № 12 від 26. 06. 2018 року.

завідувач кафедри БМІТЕ _____ Косуліна Н. Г.

На засіданні робочої групи Phd PBO (доктора філософії) спеціальності 163 Біомедична інженерія: «14» червня 2019 р.
Протокол № 5 від 14. 06. 2019 року.

На засіданні кафедри біомедичної інженерії та теоретичної електротехніки:

« 17 » червня 2019 р. Протокол № 13 від 17. 06. 2019 року.

завідувач кафедри БМІТЕ _____ Косуліна Н. Г.

На засіданні робочої групи Phd РВО (доктора філософії)
спеціальності 163 Біомедична інженерія: « 29 » червня 2020 р.
Протокол № 4 від 29. 06. 2020 року.

На засіданні кафедри біомедичної інженерії та теоретичної
електротехніки:

« 30 » червня 2020 р. Протокол № 13 від 30. 06. 2020 року.

завідувач кафедри БМІТЕ _____ Косуліна Н. Г.

© ХНТУСГ 2016 рік

© Косуліна Н. Г. 2016 рік

1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показників	Галузь знань, спеціальність, Освітня програма освітньо-кваліфікаційний рівень	Характеристика навчальної дисципліни		
		денна форма навчання	заочна форма навчання	
Кількість кредитів 3	Галузь знань Хімічна інженерія	Нормативна (за вибором)		
	Спеціальність 163 Біомедична інженерія			
Модулів – 2	доктор філософії	Рік підготовки:		
Змістовних модулів – 2		Лекції		
Індивідуальне науково-дослідне завдання з РГЗ		14	Практичні, семінарські	
		16	Лабораторні	
		Самостійна робота		
		30	Індивідуальні завдання:	
Загальна кількість годин – 90		30		
Тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 2; самостійної роботи студента – 2.		Вид контролю:		
		залік		

2. Мета та завдання навчальної дисципліни

Дисципліна «Електромагнітні поля та методи їх розрахунків» вивчає теоретичні основи та методи розрахунку електромагнітних полів та процесів в біомедичних приладах та системах, що є основою подальшого засвоєння низки дисциплін інженерного та дослідного профілю в біомедичній інженерії.

Науковою основою навчальної дисципліни є вивчення здобувачами дисциплін вищої математики, інженерної графіки, фізики, теоретичних основ електротехніки, інформатики. Подальше вивчення теоретичних основ та методів розрахунку електромагнітних полів та процесів в біомедичних приладах та системах здійснюється на лекційних, практичних заняттях, а також шляхом самостійної, теоретичної та розрахункової роботи здобувачів.

Метою викладання дисципліни, що зазначена є вивчення здобувачами теоретичних основ та методів розрахунку електромагнітних полів та процесів в біомедичних приладах та системах, які застосовуються при вивчанні, розрахунках та при проектуванні багатьох біомедичних пристроїв.

Завданнями дисципліни є:

- вивчення теоретичних основ розрахунку електромагнітних полів в біомедичних приладах та системах;
- вивчення методів розрахунку електромагнітних полів різних елементів в біомедичних приладах та системах;
- засвоєння теоретичних основ та практичних навичок отримання низки електромагнітних параметрів в біомедичних приладах та системах на основі розрахунку магнітних та електричних полів.

В результаті вивчення дисципліни студенти повинні знати:

- теоретичні основи розрахунку електромагнітних полів в біомедичних приладах та системах;
- методи розрахунку електромагнітних полів різних елементів в біомедичних приладах та системах;
- теоретичні основи отримання низки електромагнітних параметрів електротехнічних пристроїв на основі

розрахунку магнітних полів в біомедичних приладах та системах;

вміти:

- формувати математичні моделі та обирати раціональні методи розрахунку електромагнітних полів, параметрів та процесів в біомедичних приладах та системах;
- розраховувати електромагнітні поля та параметри різних біомедичних приладах та системах.

3. Програма дисципліни

Вступ

Вивчення дисципліни «ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ ПОЛЯ ТА МЕТОДИ ЇХ РОЗРАХУНКІВ» здобувачами відбувається під час практичних занять або самостійної роботи. Здобувач повинен скласти конспект за вивченим матеріалом та відповісти на питання для самоперевірки. Після вивчення відповідних розділів дисципліни рекомендується виконувати розрахункові роботи.

За навчальним планом підготовки фахівців третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти – дисципліна «Електромагнітні поля та методи їх розрахунків» вивчається у 5 семестрі.

До складу дисципліни увійшли такі розділи:

1. Основні поняття і закони електромагнітного поля.
2. Магнітне поле провідників різноманітної форми та конструкції.
3. Магнітне поле у середовищах з різними магнітними властивостями.
4. Рівняння Максвела та методи розрахунку магнітного поля.
5. Принципи розрахунку магнітного поля методом скінчених різниць.
6. Основні поняття та рівняння електростатичного поля та електричного поля постійного струму.
7. Основні рівняння та принципи розрахунку електромагнітних полів та процесів.

Розділ 1. Основні поняття і закони електромагнітного поля

Електричне та магнітне поля, як складові електромагнітного поля, і його характеристики: електричний заряд, електричний струм, електрична індукція, напруженість електричного поля, електрорушійна сила, магнітний потік, магнітна індукція, напруженість магнітного поля, магніторушійна сила.

Закон електромагнітної індукції, закон Ампера, правило Ленца, закон Кулона.

Способи збудження та зображення магнітних полів. Правило буравчика. Властивості матеріалів, що впливають на магнітне поле та характеристика середовищ розповсюдження магнітного поля.

Метод накладення. Основи розв'язання задач розрахунку магнітних поля: закон Біо-Савара-Лапласа, закон повного струму.

Контрольні запитання

1. Дайте визначення електричному полю.
2. Дайте визначення магнітному полю.
3. Дайте визначення електромагнітному полю.
4. Дайте визначення електричному заряду.
5. Дайте визначення електричному струму.
6. Дайте визначення електричній індукції та напруженості електричного поля.
7. Дайте визначення електрорушійній силі.
8. Дайте визначення магнітному потоку.
9. Дайте визначення магнітній індукції.
10. Дайте визначення напруженості магнітного поля.
11. Дайте визначення магніторушійній силі.
12. Сформулюйте закон електромагнітної індукції.
13. Сформулюйте закон Ампера.
14. Сформулюйте правило Ленца.
15. Сформулюйте закон Кулона.
16. Наведіть способи збудження та зображення магнітних полів.

17. Сформулюйте правило буравчика.
18. Охарактеризуйте властивості матеріалів, що впливають на магнітне поле.
19. Охарактеризуйте середовища розповсюдження магнітного поля.
20. Викладіть сутність методу накладення при розрахунку магнітного поля.
21. Сформулюйте закон Біо-Савара-Лапласа.
22. Сформулюйте закон повного струму.

Розділ 2. Магнітне поле провідників різноманітної форми та конструкції

Магнітне поле нескінченно довгого провідника, що має круглий переріз кінцевого радіусу. Магнітне поле довгої двохпровідної лінії з провідниками круглого перерізу. Магнітне поле коаксіального кабелю. Магнітне поле довгої одиночної шини прямокутного поперечного перерізу, а також довільної сукупності прямокутних шин.

Магнітне поле тороподібної котушки. Оціночна формула для поля всередині соленоїда відносно великої довжини. Магнітне поле кругового витка зі струмом: частковий випадок – поле на осі витка на основі закону Біо-Савара-Лапласа.

Магнітне поле провідника кінцевої довжини. Магнітне поле прямокутного контуру (витка) із струмом. Магнітне поле прямокутної котушки з кінцевими розмірами поперечного перерізу, а також сукупності таких котушок.

Контрольні запитання

1. Викласти методику розрахунку магнітного поля нескінченно довгого провідника, що має круглий переріз кінцевого радіусу.
2. Викласти методику розрахунку магнітного поля двохпровідної лінії з провідниками круглого перерізу.
3. Викласти методику розрахунку магнітного поля коаксіального кабелю.

4. Викласти методику розрахунку магнітного поля довгої одиночної шини прямокутного поперечного перерізу.

5. Викласти методику розрахунку магнітного поля довільної сукупності довгих шин прямокутного перерізу.

6. Викласти методику розрахунку магнітного поля тороподібної котушки.

7. Викласти методику розрахунку магнітного поля всередині соленоїда відносно великої довжини.

8. Викласти методику розрахунку магнітного поля на осі витка зі струмом із застосуванням закону Біо-Савара-Лапласа.

9. Викласти методику розрахунку магнітного поля провідника кінцевої довжини.

10. Викласти методику розрахунку магнітного поля прямокутного контуру (витка) із струмом.

11. Викласти методику розрахунку магнітного поля прямокутної котушки з кінцевими розмірами поперечного перерізу, а також сукупності таких котушок.

Розділ 3. Магнітне поле у середовищах з різними магнітними властивостями

Граничні умови для магнітної індукції та напруженості магнітного поля на

межі розділення двох середовищ з різними магнітними властивостями та умови переломлення силових ліній на межі розділення середовищ. Метод дзеркальних зображень для розрахунку магнітного поля поблизу плоскої межі розділення середовищ. Особливості методу дзеркальних зображень у разі циліндрової межі розділення середовищ, у разі двох екранів, розділених проміжком.

Поняття про магнітні кола. Закони Ома та Кірхгофа для магнітних кіл. Принцип розрахунку магнітного поля методом очікуваних шляхів замикання силових ліній.

Пряма і зворотна задача розрахунку магнітного кола.

Контрольні запитання

1. Викласти граничні умови для магнітної індукції на межі розділення двох середовищ.
 2. Викласти граничні умови для напруженості магнітного поля на межі розділення двох середовищ.
 3. Викласти умови переломлення силових ліній на межі розділення середовищ.
 4. Викласти сутність методу дзеркальних зображень для розрахунку магнітного поля поблизу плоскої межі розділення середовищ.
 5. Викласти особливості методу дзеркальних зображень у разі циліндрової межі розділення середовищ.
 6. Викласти особливості методу дзеркальних зображень у разі двох екранів, розділених проміжком.
 7. Викласти основні поняття про магнітні кола.
 8. Навести закони Ома та Кірхгофа для магнітних кіл.
 9. Навести принцип розрахунку магнітного поля методом очікуваних шляхів замикання силових ліній.
 10. Навести алгоритм прямої задачі розрахунку магнітного кола.
- Навести алгоритм зворотної задачі розрахунку магнітного кола.

Розділ 4. Рівняння Максвелла та методи розрахунку магнітного поля

Система рівнянь Максвелла. Зв'язок 1-го рівняння Максвелла з законом повного струму. Закон безперервності магнітного потоку і його зв'язок з 3-м рівнянням Максвелла. Скалярний магнітний потенціал і вираз через нього рівняння з системи Максвелла (рівняння Лапласа). Векторний магнітний потенціал і вираз через нього рівняння з системи Максвелла (рівняння Пуассона) для однорідного середовища та загальний розв'язок цього рівняння.

Вираз через векторний магнітний потенціал рівняння магнітного поля з системи Максвелла для неоднорідного середовища. Вираз складових магнітної індукції через

векторний магнітний потенціали в прямокутній та циліндричній системах координат. Магнітне поле кругового витка зі струмом: загальний випадок – просторовий розподіл на основі векторного магнітного потенціалу. Магнітне поле круглої котушки з кінцевими розмірами поперечного перерізу.

Метод розділення змінних для розрахунку магнітних полів. Метод розділення змінних для розрахунку магнітного поля в пристроях з циліндровими межами розділу різнорідних середовищ.

Контрольні запитання

1. Навести систему рівнянь Максвелла та зв'язок 1-го рівняння Максвелла з законом повного струму.

2. Навести закон безперервності магнітного потоку і його зв'язок з 3-м рівнянням Максвелла.

3. Надати визначення скалярному магнітному потенціалу і виразити через нього рівняння з системи Максвелла (рівняння Лапласа).

4. Надати визначення векторному магнітному потенціалу і виразити через нього рівняння з системи Максвелла (рівняння Пуассона) для однорідного середовища та надати загальний розв'язок цього рівняння. Виразити через векторний магнітний потенціал рівняння магнітного поля з системи Максвелла для неоднорідного середовища.

5. Виразити складові магнітної індукції через векторний магнітний потенціали в прямокутній системі координат.

6. Виразити складові магнітної індукції через векторний магнітний потенціали в циліндричній системі координат.

7. Викласти методику розрахунку магнітного поля кругового витка зі струмом на основі векторного магнітного потенціалу.

8. Викласти методику розрахунку магнітного поля круглої котушки з кінцевими розмірами поперечного перерізу.

9. Навести сутність методу розділення змінних для розрахунку магнітних полів.

10. Навести сутність методу розділення змінних для розрахунку магнітного поля в пристроях з циліндровими межами розділу різнорідних середовищ.

Розділ 5. Принципи розрахунку магнітного поля методом скінчених різниць

Загальні принципи розрахунку магнітного поля у неоднорідному середовищі (дискретизація середовищ та чисельні методи розв'язання). Безперервні та дискретні функції електричних і магнітних величин при сітковій та скінченоелементній структурах. Основи методу скінчених різниць (об'єкт і область розрахунку, сітка та нумерація її елементів, формування масивів магнітних та електричних величин, загальні граничні умови). Подання похідних векторного магнітного потенціалу у скінчених різницях.

Скінчено-різницева апроксимація магнітних величини (магнітної індукції і напруженості магнітного поля) через векторний магнітний потенціал. Скінченорізницева апроксимація рівняння магнітного поля, вираженого через векторний магнітний потенціал (п'ятиточковий сітковий шаблон і відповідний скінченорізницевий оператор). Загальна структура системи розрахунку магнітного поля методом скінчених різниць.

Загальний алгоритм і складові програми розрахунку магнітного поля методом скінчених різниць (описи використовуваних величин, формування сіткової моделі та об'єкту розрахунку, розрахунок вузлових струмів, завдання початкових значень векторного магнітного потенціалу).

Загальний алгоритм і складові програми розрахунку магнітного поля методом скінчених різниць (організація ітераційного перерахунку векторного магнітного потенціалу, магнітних властивостей феромагнетиків, критерії завершення ітераційного процесу, способи прискорення досягнення кінцевих результатів розрахунку).

Отримання електромагнітних параметрів електротехнічних пристроїв за результатами розрахунку магнітного поля: магнітні

індукція і напруженість, магнітний потік, магнітне потокозчеплення, електромагнітні характеристики, падіння магнітної напруги, індуктивності і взаємоіндуктивності.

Отримання електромагнітних параметрів електротехнічних пристроїв за результатами розрахунку магнітного поля: електрорушійні сили та їхній гармонічний склад, електромагнітні і електродинамічні зусилля, електромагнітний момент, енергія магнітного поля.

Контрольні запитання

1. Навести загальні принципи розрахунку магнітного поля у неоднорідному середовищі (дискретизація середовищ та чисельні методи розв'язання).

2. Навести безперервні та дискретні функції електричних і магнітних величин при сітковій та скінчено-елементній структурах.

3. Навести основи методу скінчених різниць (об'єкт і область розрахунку, сітка та нумерація її елементів, формування масивів магнітних та електричних величин, загальні граничні умови).

4. Навести принцип подання похідних векторного магнітного потенціалу у скінчених різницях.

5. Навести принцип скінчено-різницевої апроксимації магнітних величини (магнітної індукції і напруженості магнітного поля) через векторний магнітний потенціал.

6. Навести принцип скінчено-різницевої апроксимації рівняння магнітного поля, вираженого через векторний магнітний потенціал (п'ятиточковий сітковий шаблон і відповідний скінчено-різницевий оператор).

7. Навести загальну структуру системи розрахунку магнітного поля методом скінчених різниць.

8. Навести загальний алгоритм і складові програми розрахунку магнітного поля методом скінчених різниць (описи використовуваних величин, формування сіткової моделі та об'єкту розрахунку, розрахунок вузлових струмів, завдання початкових значень векторного магнітного потенціалу).

9. Навести загальний алгоритм і складові програми розрахунку магнітного поля методом скінчених різниць (організація ітераційного перерахунку векторного магнітного потенціалу, магнітних властивостей феромагнетиків, критерії завершення ітераційного процесу, способи прискорення досягнення кінцевих результатів розрахунку).

10. Навести принцип отримання електромагнітних параметрів електротехнічних пристроїв за результатами розрахунку магнітного поля: магнітні індукція і напруженість, магнітний потік, магнітне потокозчеплення, електромагнітні характеристики, падіння магнітної напруги, індуктивності і взаєміндуктивності.

11. Навести принцип отримання електромагнітних параметрів електротехнічних пристроїв за результатами розрахунку магнітного поля: електрорушійні сили та їхній гармонічний склад, електромагнітні і електродинамічні зусилля, електромагнітний момент, енергія магнітного поля.

Розділ 6. Основні поняття та рівняння електростатичного поля та електричного поля постійного струму

Способи збудження та зображення електростатичних полів, відповідні величини та їхній взаємозв'язок, властивості матеріалів, що впливають на електричне поле. Характеристика задач розрахунку електростатичного поля та основи їх розв'язання: теорема Гаусса, рівняння системи Максвелла. Рівняння Пуассона і Лапласа для електростатичного поля. Провідники в електростатичному полі і умови на межі провідник-діелектрик.

Умови для електричного поля на межі діелектриків з різними властивостями. Енергія електричного поля. Методи розрахунку електростатичних полів (метод накладання, метод дзеркальних зображень, прикладення теореми Гаусса). Електричне поле зарядженої діелектричної кулі, двохпровідникової лінії. Електричне поле зарядженої осі, двох

заряджених паралельних осей та зарядженої осі, що розташована поблизу електропровідної площини.

Стаціонарне електричне поле постійного струму в провідниковому середовищі і відповідні рівняння. Закони Ома і Джоуля-Ленца в диференційній формі.

Перехід струму з середовища в середовище з різною електропровідністю.

Контрольні запитання

1. Наведіть способи збудження та зображення електростатичних полів, відповідні величини та їхній взаємозв'язок, властивості матеріалів, що впливають на електричне поле.

2. Охарактеризуйте задачі розрахунку електростатичного поля та наведіть основи їх розв'язання: теорема Гаусса, рівняння системи Максвелла. Рівняння Пуассона і Лапласа для електростатичного поля.

3. Наведіть характеристику провідників в електростатичному полі і умови на межі провідник-діелектрик.

4. Наведіть умови для електричного поля на межі діелектриків з різними властивостями.

5. Дайте визначення енергії електричного поля.

6. Наведіть сутність методів розрахунку електростатичних полів (метод накладання, метод дзеркальних зображень, прикладення теореми Гаусса).

7. Наведіть принцип розрахунку електричного поля зарядженої діелектричної кулі, двохпровідникової лінії.

8. Наведіть принцип розрахунку електричного поля зарядженої осі, двох заряджених паралельних осей та зарядженої осі, що розташована поблизу електропровідної площини.

9. Наведіть характеристику стаціонарного електричного поля постійного струму в провідниковому середовищі і відповідні рівняння.

10. Наведіть закони Ома і Джоуля-Ленца в диференційній формі.

11. Наведіть принцип переходу струму з середовища в середовище з різною електропровідністю.

Розділ 7. Основні рівняння та принципи розрахунку електромагнітних полів та процесів

Чисельні розрахунки перехідних процесів в нелінійних електромагнітних системах (метод Ейлера – Коши і метод Рунне-Кутга четвертого порядку).

Квазістаціонарне магнітне поле та відповідні рівняння з системи Максвелла. Векторний електричний потенціал та вираз через нього рівняння вихрових струмів в тонкій пластині (без врахування реакції).

Змінне електромагнітне поле та рівняння системи Максвелла, що його описують. Закон електромагнітної індукції та його зв'язок з рівняннями системи Максвелла. Узагальнений закон електромагнітної індукції.

Теорема Умова-Пойнтінга. Плоска електромагнітна хвиля в діелектричному і електропровідному середовищі. Явище поверхневого ефекту. Поверхневий ефект в циліндричному провіднику. Змінне магнітне поле в плоскому сталевому листі.

Принцип розрахунку вихрових струмів в електропровідних елементах конструкцій з урахуванням їхньої реакції.

Контрольні запитання

1. Наведіть принцип чисельних розрахунків перехідних процесів в нелінійних електромагнітних системах (метод Ейлера-Коши і метод Рунне-Кутга четвертого порядку).

2. Наведіть визначення квазістаціонарного магнітного поля та наведіть відповідні рівняння з системи Максвелла.

3. Наведіть визначення векторного електричного потенціалу та виразіть через нього рівняння вихрових струмів в тонкій пластині (без врахування реакції).

4. Наведіть визначення змінного електромагнітного поля та наведіть рівняння системи Максвелла, що його описують.

5. Наведіть закон електромагнітної індукції та його зв'язок з рівнянням системи Максвелла та узагальнений закон електромагнітної індукції.

6. Наведіть теорему Умова-Пойнтінга.

7. Наведіть характеристику плоскій електромагнітній хвилі в діелектричному і електропровідному середовищі.

8. Наведіть визначення явищу поверхневого ефекту.

9. Наведіть сутність поверхневого ефекту в циліндричному провіднику.

10. Наведіть принцип розрахунку змінного магнітного поля в плоскому сталевому листі.

11. Наведіть принцип розрахунку вихрових струмів в електропровідних елементах конструкцій з урахуванням їхньої реакції.

4. Структура дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин											
	денна форма					заочна форма						
	усь ого	у тому числі					усього	у тому числі				
л		п	лаб.	с.р.	інд	л		п	лаб.	с.р.	інд	
1		16	14	16		44		4	2		84	
Модуль 1												
Змістовий модуль 1. Назва												
Тема 1. Основи теорії електромагнітного поля.												
Тема 2. Електростатичне поле												
Разом за змістовим модулем 1												
Змістовий модуль 2. Назва												
Тема 1. Електричне поле постійного струму.												
Тема 2. Магнітне поле постійного струму.												
Разом за змістовим модулем 2												
Усього годин	60	14	16		30							
Модуль 2												

ІНДЗ	30												
Усього годин	90												

5. Темі практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Розрахунок полів простої структури електростатичного поля. Вступні задачі аналізу полів. Визначення граничних умов. Використання теореми Гауса. Загальні методи та приклади розрахунку поля. Ємність, сила та енергія	8
2	Розрахунок стаціонарного електричного поля	4
3	Розрахунок магнітних полів. Вступні задачі аналізу магнітного поля. Визначення граничних умов. Використання закону повного струму, симетрії та принципу накладання. Рівняння Лапласа та Пуасона. Закон Біо-Савара. Дзеркальні зображення та інші приклади. Енергія та сила в магнітному полі. Індуктивність.	4

6. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Основні рівняння змінного електромагнітного поля	10
2	Змінне електромагнітне поле в однорідному та ізотропному провідному середовищі.	10
3	Розподіл електромагнітних хвиль в однорідному та ізотропному діелектриках та в напівпровідниках та гізотропних середовищах.	10
4	Запізнюючий потенціал змінного електромагнітного поля та випромінювання електромагнітної енергії	6
5	Електромагнітні хвилі в направляючих системах	6
6	Основи магнітної гідродинаміки	8
7	Надпровідне середовище в електромагнітних полях	10
8	Разом з ІНДЗ	60

7. Індивідуальні завдання (РОЗРАХУНКОВІ РОБОТИ)

1. Розрахунок електростатичного поля.

ЗАВДАННЯ: Дано переріз багаточислової кулі та циліндру з відомими внутрішніми та зовнішніми радіусами концентрично розташованих шарів. Шар діелектрика характеризується відносною діелектричною проникністю, та в шарі ϵ_1 рівномірно розподіляється заряд q , питома поверхнева щільність якого σ . Зовнішній провідячий шар заземлено.

2. Розрахунок магнітного поля постійних струмів.

ЗАВДАННЯ: Дано два мідних циліндра, які служать прямим та зворотним дротом постійного струму.

Розрахувати: Визначити напруженість та векторний потенціал магнітного поля та побудувати графіки зміни цих величин в залежності від відстані, що відлічується від поздовжньої осі циліндрів.

Визначити потік, що проходить через пласку поверхню осьового перерізу, що обмежується віссю з однієї.

3. Розрахунок електричного поля постійних струмів.

ЗАВДАННЯ:

Дано заземлювач кульової форми та частина кулі, яка розташована в однорідному ґрунті з заданою провідністю γ до якого підводиться струм I .

Визначити: опір заземлювача; шагову напругу між точками A та B ; побудувати графіки розподілу напруженості електричного поля на поверхні землі від точки A в сторону точки B на відрізок $3h$.

8. Теми рефератів:

1. Поширення електромагнітних хвиль в гіротропних середовищах.
2. Елемент Гюйгенса, його поле і діаграма спрямованості.
3. Розрахунок ліній зв'язку на основі далекого тропосферного розсіювання.
4. Вплив магнітного поля Землі на поширення іоносферних радіохвиль.
5. Системи супутникового зв'язку. Розрахунок шумів в каналах супутникових радіоліній.

В якості

творчого завдання зараховується виступ студентів з доповідями

9. Методи навчання

Лекції; розв'язування задач на практичних; самостійна робота; творчі задачі (реферати).

10. Методи оцінювання

Поточне тестування на ЕОМ, письмові звіти з виконання рефератів та індивідуального навчально-дослідного завдання (РГЗ), підсумковий тест на ЕОМ.

11. Розподіл балів, які отримують студенти

Поточне тестування та самостійна робота									Сума/ Екзамен 40
Змістовий модуль 1,2					модуль 2				
T1	T2	T3	T4	Рефе- рати	ІНДЗ 1	ІНДЗ 2	ІНДЗ 3	Рефе- рати	60+40= 100
5	5	5	5	20	5	5	5	5	

T1, T2 ... T4 – теми змістових модулів.

- Політика щодо академічної доброчесності: Усі письмові роботи перевіряються на наявність плагіату і допускаються до захисту із коректними текстовими запозиченнями не більше 20%.

Списування під час контрольних робіт та екзаменів заборонені (в т.ч. із використанням мобільних девайсів). Мобільні пристрої дозволяється використовувати лише під час он-лайн тестування (наприклад, програма Kahoot).

- Політика щодо відвідування: Відвідування занять є обов'язковим компонентом оцінювання, за яке нараховуються бали. За об'єктивних причин (наприклад, хвороба, міжнародне стажування) навчання може відбуватись в он-лайн формі за погодженням із керівником курсу.

12. Понятійно-термінологічний словник курсу (глосарій)

Електричне коло – сукупність джерел електричної енергії, приймачів та з'єднуючих їх провідників.

Електрична схема – умовне графічне зображення електричного кола.

Реальне джерело енергії – джерело напруги з величиною електрорушійної сили і внутрішнім опором. У джерелі електричної енергії відбувається перетворення різних видів енергії в електричну.

Ідеальне джерело енергії – джерело напруги з нульовим внутрішнім опором.

Приймач електричної енергії – елемент кола, в якому електрична енергія перетворюється в теплову, механічну і ін. Енергію.

Електрична гілка – ділянку кола, утворена послідовно з'єднаними елементами, за якими протікає один і той же струм.

Електричний вузол – точка кола, де сходяться не менше трьох гілок.

Електричний контур – будь-який замкнений ділянка кола.

Незалежний електричний контур – це контур, в який входить хоча б одна нова гілка.

Електрична ємність – величина, що характеризує здатність провідника утримувати електричний заряд.

Електрична індукція – величина, що характеризує електричне поле в речовині поряд з напруженістю.

Електричний генератор – пристрій для перетворення різних видів енергії (механічної, хімічної, теплової та ін.) в електричну.

Електричний двигун – електрична машина для перетворення електричної енергії в механічну.

Електричний заряд – величина, що визначає інтенсивність електромагнітного взаємодії заряджених частинок; джерело електромагнітного поля.

Електричний струм – спрямований (упорядкований) рух заряджених частинок: електронів, іонів і ін.

Електричний трансформатор – електрична машина, яка не має рухомих частин, що перетворює змінний струм однієї напруги в перемінний струм іншої напруги.

Електричне поле – приватна форма прояву електромагнітного поля; створюється електричними зарядами або змінним магнітним полем.

Електрорушійна сила – величина, що характеризує джерело енергії неелектростатичної природи в електричному колі, необхідній для підтримання в ній електричного струму.

Електромагнітне поле – особлива форма матерії, за допомогою якої здійснюється взаємодія між зарядженими частинками.

Електромагнітні хвилі – електромагнітне поле, яке розповсюджується в просторі з кінцевою швидкістю, яка залежить від властивостей середовища.

Електростатичне поле – електричне поле нерухомих електричних зарядів.

Магнітна індукція – середнє результуюче магнітне поле в середовищі.

Рівняння Максвелла – основні рівняння класичної макроскопічної електродинаміки, що описують електромагнітні явища в довільних середовищах і в вакуумі.

Напруженість електричного поля – основна силова характеристика електричного поля, що дорівнює відношенню сили, що діє на точковий електричний заряд в даній точці простору, до величини заряду.

Напруженість магнітного поля – силова характеристика магнітного поля, яка не залежить від магнітних властивостей середовища. У середовищі визначає внесок в магнітну індукцію, який дають зовнішні джерела струму.

Чотириполюсник (ЧП) – пристрій, що містить дві пари затискачів, одна з яких служить для підключення до джерела, а інша – до приймача.

Симетричний ЧП – пристрій, який з боку вихідних затискачів представляє таке коло, як і з боку вхідних затискачів.

Пасивний ЧП – чотириполюсник, який не містить у своїй структурі джерел енергії.

Нелінійний елемент – елемент електричного кола, у якого немає лінійної залежності між напругою і струмом.

Нелінійне коло – електричне коло, в якій присутній хоча б один нелінійний елемент.

Коло з розподіленими параметрами або довга лінія – електричне коло, в якому кожна як завгодно мала ділянка лінії може

бути опором і індуктивністю, а між проводами - провідність і ємність.

Однорідна довга лінія – це лінія, в якій параметри однієї ділянки повторюються на інших ділянках.

Довга лінія без втрат – це лінія, у якій прийняті за нуль значення поздовжнього активного опору і поперечної активної провідності

13. ЛІТЕРАТУРА

Основна

1. Балан Г. П. Теоретичні основи електротехніки / Г. П. Балан, П. О. Кравченко, Ю. Ф. Свергун, О. Є. Щербаков. – К.: Видавництво. – 2007. – 325 с.

2. Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи / Бессонов Л. А. – М.: Высшая школа, 1978. – Ч. 1. – 528 с.

3. Зевеке В. В. Основы теории цепей / Зевеке В. В., Ионкин П. А., Нетушил А. В., Стахов С. В. – М.: Энергоатомиздат, 2009. – 528 с.

4. Матханов П. Н. Основы анализа электрических цепей. Линейные цепи / Матханов П. Н. – М.: Высшая школа, 1991. – 333 с.

5. Матханов П. Н. Основы анализа электрических цепей. Нелинейные цепи / Матханов П. Н. – М.: Высшая школа, 1997. – 272 с.

6. Атабеков Г. И. Теоретические основы электротехники. Линейные электрические цепи / Атабеков Г. И.– М.: Энергия, 1998. – Ч. 1. – 592 с.

7. Атабеков Г. И. Теоретические основы электротехники. Нелинейные электрические цепи. Электромагнитное поле. Г. И. Атабекова. – М.: Энергия. – 1999. – Ч. 2, 3. – 432 с.

8. Електромагнітні поля та методи їх розрахунків, програма, завдання, контрольні запитання та методичні вказівки до розрахункової роботи для студентів спеціальності 163 –

Біомедична інженерія. уклад. Косуліна Н. Г., Черенков О. Д. – Харків: ХНТУСГ, 2019. – 32 с.

Додаткова

1. Перхач В. С. Теоретична електротехніка / Перхач В. С. – К.: Вища школа. – 1992. – 439 с.
2. Кухаркин Е. С. Основы инженерной электрофизики / Кухаркин Е. С. – М.: Высшая школа. – 2002. – Ч. 1. – 511 с.
3. Ионкин П. А. Основы инженерной электрофизики / П. А. Ионкина. – М.: Высшая школа, 2006. – Ч. 2. – 636 с.
4. Бессонов Л. А. Нелинейные электрические цепи / Бессонов Л. А. – М.: Высшая школа. – 1997. – 342 с.
5. Тамм И. Е. Основы теории электричества / Тамм И. Е. – М.: Высшая школа. – 1992. – 504 с.

14. РЕСУРСИ

1. Бібліотека ХНТУСГ ім. П. Василенка (ННІ енергетики та комп'ютерних технологій).
2. Бібліотека імені В. Г. Короленка (м. Харків, вул. Короленка, 18).
3. Обласна наукова бібліотека (м. Харків, вул. Кооперативна, 13).
4. Адреси в Інтернеті.

Шкала оцінювання: національна та ЄКТС

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка ECTS	Оцінка за національною шкалою	
		для екзамену, курсового проекту (роботи), практики	для заліку
90 – 100	A	відмінно	зараховано
82-89	B	добре	
74-81	C		
64-73	D	задовільно	
60-63	E		
35-59	FX	незадовільно з можливістю повторного складання	не зараховано з можливістю повторного складання
0-34	F	незадовільно з обов'язковим повторним вивченням дисципліни	не зараховано з обов'язковим повторним вивченням дисципліни

1. Критерії оцінювання до визначення рівня знань і навичок:

1) «Відмінно» (90-100 балів) – студент виявляє всебічні системні і глибокі знання програмного матеріалу, вільно оперує матеріалом, чітко володіє понятійним апаратом, уміє аналізувати і робити висновки;

2) «Дуже добре» (82-89 бали) – студент виявляє широкий професійний кругозір, уміння логічно мислити, виявляє достатньо системне і глибоке знання програмного матеріалу,

чітко володіє понятійним апаратом, проте у відповідях допускаються окремі неточності, які не змінюють суті питання.

3) «Добре» (74-81 бали) – студент виявляє достатньо глибоке знання програмного матеріалу, володіє понятійним апаратом, вміє аргументувати свої відповіді, проте у відповідях допускаються неточності, які впливають на чіткість.

4) «Задовільно» (64-73 бали) – студент виявляє не достатньо глибоке знання програмного матеріалу, в основному володіє основним понятійним апаратом, але допускає принципові помилки;

5) «Достатньо» (60-63 бали) – студент виявляє слабкі знання, у відповідях не точно формулює причинно-наслідкові зв'язки між явищами і процесами, оперування фактами відбувається на рівні запам'ятовування, допускаються значні помилки.

6) «Незадовільно» (35-59 бали) – студент виявляє значні прогалини в знаннях основного програмного матеріалу, у володінні окремими поняттями, не знає більшої частини фактичного матеріалу, не вміє встановлювати причинно-наслідкові зв'язки між явищами і процесами, завчивши матеріал без його усвідомлення.