


до наказу від 10.05 2022 р. № 284

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

Кафедра електротехніки, електромеханіки та електротехнологій


"ЗАТВЕРДЖУЮ"
Директор ІНІ Енергетики, автоматики і енергозбереження
(Каняун В.В.)
" _ " _ 2023 р.

"СХВАЛЕНО"
на засіданні кафедри
електротехніки, електромеханіки та електротехнологій
Протокол № 12 від "22" 05 2023 р.
В.о. завідувача кафедри
(Окушко О.В.)

"РОЗГЛЯНУТО"
Гарант ОН "Електротехніка, електромеханіка
та електротехнології"
(Кривоносов В.Є.)

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Комп'ютерні методи розрахунку електромагнітних полів

спеціальність "141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка"
освітньо-наукова програма "Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка"

ІНІ Енергетики, автоматики і енергозбереження

Розробник: доцент, к.т.н., Васюк Вячеслав Володимирович

Київ – 2023 р.

1. Опис навчальної дисципліни

Комп'ютерні методи розрахунку електромагнітних полів

Галузь знань, спеціальність, освітня програма, освітній ступінь		
Освітній ступінь	<i>Магістр</i>	
Спеціальність	<i>141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка</i>	
Освітня програма	<i>Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка</i>	
Характеристика навчальної дисципліни		
Вид	<i>вибіркова</i>	
Загальна кількість годин	<i>120</i>	
Кількість кредитів ECTS	<i>4</i>	
Кількість змістових модулів	<i>2</i>	
Форма контролю	<i>екзамен</i>	
Показники навчальної дисципліни для денної і заочної форм навчання		
	Денна форма навчання	Заочна форма навчання
Рік підготовки	<i>другий</i>	
Семестр	<i>третій</i>	
Лекційні заняття	<i>10 год</i>	
Лабораторні заняття	<i>30 год</i>	
Самостійна робота	<i>90 год</i>	
Кількість тижневих аудиторних годин для денної форми навчання	<i>4 год</i>	

2. Мета, завдання та компетентності навчальної дисципліни

Метою викладання дисципліни, що зазначена є вивчення студентами теоретичних основ та комп'ютерних методів розрахунку електромагнітних полів та процесів в електротехніці, які застосовуються при вивчанні, розрахунках та при проектуванні багатьох електротехнічних пристроїв.

Завданнями дисципліни є: вивчення теоретичних основ розрахунку електромагнітних полів; вивчення комп'ютерних методів розрахунку електромагнітних полів різних елементів електротехнічних пристроїв; засвоєння

теоретичних основ та практичних навичок отримання низки електромагнітних параметрів електротехнічних пристроїв на основі розрахунку магнітних полів.

В результаті вивчення дисципліни студенти повинні **знати**: теоретичні основи розрахунку електромагнітних полів; комп'ютерні методи розрахунку електромагнітних полів різних елементів електротехнічних пристроїв; теоретичні основи отримання низки електромагнітних параметрів електротехнічних пристроїв на основі розрахунку магнітних полів; **вміти**: формувати математичні моделі та обирати раціональні комп'ютерні методи розрахунку електромагнітних полів, параметрів та процесів в електротехніці; розраховувати електромагнітні поля та параметри різних електротехнічних пристроїв.

Набуття компетентностей:

Інтегральна компетентність:

Здатність розв'язувати складні проблеми і задачі під час професійної діяльності у галузі електроенергетики, електротехніки та електромеханіки або у процесі навчання, що передбачає проведення досліджень та/або здійснення інновацій та характеризується невизначеністю умов і вимог.

Спеціальні (фахові, предметні) компетентності (СК):

СК1. Здатність застосовувати існуючі та розробляти нові методи, методики, технології та процедури для вирішення інженерних завдань електроенергетики, електротехніки та електромеханіки.

СК3. Здатність планувати, організовувати та проводити наукові дослідження в області електроенергетики, електротехніки та електромеханіки.

СК14. Здатність використовувати програмне забезпечення для комп'ютерного моделювання, автоматизованого проектування, автоматизованого виробництва і автоматизованої розробки або конструювання елементів електроенергетичних, електротехнічних та електромеханічних систем.

програмні результати навчання:

ПРН05. Знати основи теорії електромагнітного поля, методи розрахунку електричних кіл та вміти використовувати їх для вирішення практичних проблем у професійній діяльності.

ПРН06. Застосовувати прикладне програмне забезпечення, мікроконтролери та мікропроцесорну техніку для вирішення практичних проблем у професійній діяльності.

ПРН07. Здійснювати аналіз процесів в електроенергетичному, електротехнічному та електромеханічному обладнанні, відповідних комплексах і системах

ПРН17. Розв'язувати складні спеціалізовані задачі з проектування і технічного обслуговування електромеханічних систем, електроустаткування електричних станцій, підстанцій, систем та мереж.

ПРН18. Вміти самостійно вчитися, опанувати нові знання і вдосконалювати навички роботи з сучасним обладнанням, вимірювальною технікою та прикладним програмним забезпеченням.

3. Програма та структура навчальної дисципліни для:

- повного терміну денної форми навчання.

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин													
	Денна форма							Заочна форма						
	тижні	разом	У тому числі					разом	У тому числі					
			л	п	лаб	інд	с.р		л	п	лаб	інд	с.р	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
Змістовий модуль 1. Теоретичні основи комп'ютерних методів розрахунку електромагнітних полів														
Тема 1. Електромагнітне поле, як об'єкт моделювання. Сучасний стан моделювання електромагнітних полів.	7.01-13.01	24	2		4		18							
Тема 2. Фізичне моделювання електромагнітних полів у електромеханічних перетворювачах. Моделі електромеханічних перетворювачів енергії на основі теорії узагальненої електричної машини.	13.01-26.01	24	2		4		18							
Разом за змістовим модулем 1		48	4		8		36							
Змістовий модуль 2. Комп'ютерне моделювання електромагнітних полів при розробці і дослідженні електромагнітних перетворювачів енергії. Пакети прикладних програм.														
Тема 3. Застосування методів магнітних ланцюгів при моделюванні електромагнітних полів. Моделювання електричних машин з використанням методів теорії поля.	21.02-29.02	24	2		4		18							

Тема 4. Пакети програм для моделювання електромагнітних пристроїв методами теорії поля.	29.02-09.03	24	2	4	18							
Тема 5. Тенденції розвитку способів, методів і засобів моделювання електромеханічних перетворювачів методами теорії поля	09.02-15.03	24	2	4	18							
Разом за змістовим модулем 2		72	6	12	54							
Разом годин		120	10	20	90							

4. Теми лабораторних занять

№ з\п	Назва теми	Кількість годин
1	Розрахунок магнітної системи за схемою заміщення	4
2	Розрахунок розподілу магнітних потенціалів методом кінцевих різниць	2
3	Користувацький інтерфейс пакетів спеціального програмного забезпечення	2
4	Розрахунок стаціонарного електромагнітного поля	4
5	Автоматизація розрахунків за допомогою спеціального програмного забезпечення	4
6	Розрахунок динаміки електромагнітного поля соленоїда	4
	Разом	20

Теми самостійної роботи

№ з\п	Назва теми	Кількість годин
1	Магнітне поле провідників у однорідному просторі	10
2	Магнітне поле системи струмопровідних шин	10
3	Магнітне поле прямолінійного провідника скінченої довжини	10
4	Магнітне поле на осі кругового витка і на спільній осі круглих котушок	10
5	Магнітне поле прямокутного витка	10
6	Магнітне поле прямокутної котушки	10
7	Метод дзеркальних відображень	10
8	Метод магнітного кола	10
9	Розрахунок магнітного поля методом скінчених різниць	10
	Разом	90

5. Контрольні питання, комплекти тестів для визначення рівня засвоєння знань студентами

1. Дайте визначення електричному полю.
2. Дайте визначення магнітному полю.
3. Викласти методику розрахунку магнітного поля нескінченно довгого провідника, що має круглий переріз кінцевого радіусу.
4. Викласти методику розрахунку магнітного поля двохпровідної лінії з
5. провідниками круглого перерізу.
6. Викласти методику розрахунку магнітного поля коаксіального кабелю.
7. Викласти граничні умови для магнітної індукції на межі розділення двох середовищ.
8. Викласти граничні умови для напруженості магнітного поля на межі розділення двох середовищ.
9. Викласти умови переломлення силових ліній на межі розділення середовищ.
10. Викласти сутність методу дзеркальних зображень для розрахунку магнітного поля поблизу плоскої межі розділення середовищ.
11. Навести систему рівнянь Максвелла та зв'язок 1-го рівняння Максвелла з законом повного струму.
12. Навести закон безперервності магнітного потоку і його зв'язок з 3-м рівнянням Максвелла.
13. Пакети програм для моделювання електромагнітних пристроїв методами теорії поля.
14. Тенденції розвитку способів, методів і засобів моделювання електромеханічних перетворювачів методами теорії поля

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
УКРАЇНИ**

ОС: Магістр Спеціальність: Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка	Кафедра електротехніки, електромеханіки та електротехнологій	БІЛЕТ №1 з дисципліни Комп'ютерні методи розрахунку електромагнітних полів	Затвержую Зав. каф. _____ (підпис)
---	--	--	--

Екзаменаційні питання

1. Пакети програм для моделювання електромагнітних пристроїв методами теорії поля
2. Викласти умови переломлення силових ліній на межі розділення середовищ.

Тестові питання

1. Методи чисельно – польового аналізу процесів електромагнітного перетворення енергії успішно апробовані для обертових та статичних електромеханічних систем, що збуджуються синусоїдально [[1]] у часі струмами.

1	постійними	3	змінними
2	загальними	4	вихровими

2. В скінченно-елементних програмних засобах на основі графічного інтерфейсу FEMM, які набули широко використання, слід встановлювати три основні функціональні блоки:

1	Відображення геометричної розрахункової області, ідентифікація та присвоювання фізичних якостей її окремих частин	4	Розрахунок параметрів моделі методом скінчених елементів.
2	Вивід результатів розрахунків.	5	Знаходження оптимальних параметрів

3. Відповідні блоки геометричної моделі, в яких задана одна й та сама сила намагнічування, можуть розглядатися як сполучені послідовно.

1	Так	3	Ні
---	-----	---	----

4. Стаціонарне поле – це

1	поле, створюване зарядами, що рівномірно рухаються, тобто постійним струмом	3	змінне електромагнітне поле, яке із часом змінюється повільно, що можна знехтувати струмом зміщення в порівнянні з струмом провідності і ефектом запізнювання (ефектом випромінювання)
2	поле, що швидко змінюється в часі; створюється змінним струмом великої частоти	4	поле в просторі без струмів, незмінне у часі

5. Оберіть правильні твердження № 1 і № 2. Магнітне поле усередині провідника зі струмом має характер № 1, поза провідником № 2

1	№ 1 – потенційне, № 2 – вихрове;	3	№ 1 – вихрове, № 2 – потенційне;
2	№ 1 – потенційне, № 2 – потенційне;	4	№ 1 – вихрове, № 2 – вихрове

6. Наведіть тип поля, для якого лінійний інтеграл по будь-якому замкнутому контуру від вектора напруженості електричного поля, а також від вектора напруженості магнітного поля в області, не зайнятій струмом, дорівнює нулю

1	потенційне	3	статичне
2	однорідне	4	неоднорідне

7. Вкажіть від чого не залежить глибина проникнення електромагнітної хвилі в провідник.

1	від опору провідника	3	від частоти електромагнітної хвилі
2	від напрямку розповсюдження хвилі	4	від форми провідника

8. Назвіть параметр, який визначає глибину проникнення електромагнітної хвилі у провідник.

1	поверхневий опір провідника	3	щільність струму на поверхні провідника
2	глибина проникнення поля в провідник	4	площа перерізу провідник

9. Охарактеризуйте принцип опису властивостей анізотропних середовищ

1	на основі тензорів	3	на основі методу накладання
2	на основі комплексних амплітуд	4	на основі векторних добутків проєкцій рів напруженості електромагнітного поля

10. Наведіть метод опису стороннього поля, якщо точний розподіл його напруженості є невідомим

1	за допомогою сторонньої ЕРС	3	за допомогою точкового джерела поля
2	за допомогою заміни на лінійний розподіл поля	4	за допомогою методу компенсації

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
УКРАЇНИ**

ОС: Магістр Спеціальність: Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка	Кафедра електротехніки, електромеханіки та електротехнологій	БІЛЕТ №1 з дисципліни Комп'ютерні методи розрахунку електромагнітних полів	Затвержую Зав. каф. _____ (підпис)
---	--	--	--

Екзаменаційні питання

1. Викласти сутність методу дзеркальних зображень для розрахунку магнітного поля поблизу плоскої межі розділення середовищ.
2. икласти граничні умови для магнітної індукції на межі розділення двох середовищ.

Тестові питання

1. Стационарне поле – це

1	поле, створюване зарядами, що рівномірно рухаються, тобто постійним струмом	3	змінне електромагнітне поле, яке із часом змінюється повільно, що можна знехтувати струмом зміщення в порівнянні з струмом провідності і ефектом запізнювача (ефектом випромінювання)
2	поле, що швидко змінюється в часі; створюється змінним струмом великої частоти	4	поле в просторі без струмів, незмінне у часі

2. Оберіть правильні твердження № 1 і № 2. Магнітне поле усередині провідника зі струмом має характер № 1, поза провідником № 2

1	№ 1 – потенційне, № 2 – вихрове;	3	№ 1 – вихрове, № 2 – потенційне;
2	№ 1 – потенційне, № 2 – потенційне;	4	№ 1 – вихрове, № 2 – вихрове

3. В скінченно-елементних програмних засобах на основі графічного інтерфейсу FEMM, які набули широко використання, слід встановлювати три основні функціональні блоки:

1	Відображення геометричної розрахункової області, ідентифікація та присвоювання фізичних якостей її окремих частин	4	Розрахунок параметрів моделі методом скінчених елементів.
2	Вивід результатів розрахунків.	5	Знаходження оптимальних параметрів

4. Наведіть метод опису стороннього поля, якщо точний розподіл його напруженості є невідомим

1	за допомогою сторонньої ЕРС	3	за допомогою точкового джерела поля
2	за допомогою заміни на лінійний розподіл поля	4	за допомогою методу компенсації

5. Наведіть тип поля, для якого лінійний інтеграл по будь-якому замкнутому контуру від вектора напруженості електричного поля, а також від вектора напруженості магнітного поля в області, не зайнятій струмом, дорівнює нулю

1	потенційне	3	статичне
2	однорідне	4	неоднорідне

6. Наведіть метод опису стороннього поля, якщо точний розподіл його напруженості є невідомим

1	за допомогою сторонньої ЕРС	3	за допомогою точкового джерела поля
2	за допомогою заміни на лінійний розподіл поля	4	за допомогою методу компенсації

7. Методи чисельно – польового аналізу процесів електромагнітного перетворення енергії успішно апробовані для обертових та статичних електромеханічних систем, що збуджуються синусоїдально [[1]] у часі струмами.

1	постійними	3	змінними
2	загальними	4	вихровими

8. Охарактеризуйте принцип опису властивостей анізотропних середовищ

1	на основі тензорів	3	на основі методу накладання
2	на основі комплексних амплітуд	4	на основі векторних добутоків проєкцій рів напруженості електромагнітного поля

9. Вкажіть від чого не залежить глибина проникнення електромагнітної хвилі в провідник.

1	від опору провідника	3	від частоти електромагнітної хвилі
2	від напрямку розповсюдження хвилі	4	від форми провідника

9. Струм поляризації обумовлюється

1	рухом зв'язаних зарядів діелектричного середовища	3	рухом заряджених тіл або часток в непровідному середовищі або у вакуумі;
2	упорядкованим рухом електричних зарядів під дією сили поля;	4	зміною в часі електричного поля у вакуумі.

6. Методи навчання

Застосовуються наступні методи навчання: словесні – розповідь, пояснення, лекція, інструктаж; наочні – демонстрація, ілюстрація; практичні – лабораторна робота, практична робота, вправи. За характером логіки використовуються такі методи: аналітичний, синтетичний, аналітико-синтетичний. Індуктивний, дедуктивний. За рівнем самостійної розумової діяльності використовуються методи: проблемний, частково-пошуковий, дослідницький.

7. Форми контролю

Поточний контроль знань після вивчення 1-го, 2-го змістових модулів дисципліни передбачено здійснювати шляхом тестування на платформі Elearn та виконанням самостійних робіт та модульного контролю, формою підсумкового контролю є екзамен.

8. Розподіл балів, які отримують студенти.

Оцінювання знань студента відбувається за 100-бальною шкалою і переводиться в національні оцінки згідно з табл. 1 «Положення про екзамени та заліки у НУБіП України» (наказ про уведення в дію від 27.12.2019 р. № 1371)

Рейтинг студента, бали	Оцінка національна за результати складання	
	екзаменів	заліків
90–100	Відмінно	Зараховано
74-89	Добре	
60-73	Задовільно	
0-59	Незадовільно	Не зараховано

Для визначення рейтингу студента (слухача) із засвоєння дисципліни $R_{\text{дис}}$ (до 100 балів) одержаний з атестації (до 30 балів) додається до рейтингу студента (слухача) з навчальної роботи $R_{\text{НР}}$ (до 70 балів): $R_{\text{дис}} = R_{\text{НР}} + R_{\text{АТ}}$.

9. Методичне забезпечення

1. Підручники та посібники, зазначені у списку літератури.
2. Інтернет-ресурси.

10. Рекомендована література

Основна

1. Балан Г. П. Теоретичні основи електротехніки / Г. П. Балан, П. О. Кравченко, Ю. Ф. Свєргун, О. Є. Щєрбаков. – К.: Видавництво. – 2007. – 325 с;
2. Електромагнітні поля та методи їх розрахунків, програма, завдання, контрольні запитання та методичні вказівки до розрахункової роботи для студентів спеціальності 163 – 26 Біомедична інженерія. уклад. Косуліна Н. Г., Черенков О. Д. – Харків: ХНТУСГ, 2019. – 32 с;
3. Чабан В.Г. Математичне моделювання електромеханічних процесів. – Львів, 1997, 340 с;
4. Чабан В.Й., Гушак Р.І. Перехідний електромеханічний процес у диполі рідкого кристала// Математичні методи та фізико-механічні поля. – 1997, № 2, 40. – С. 160-162;

5. MATLAB User Guide. – The MathWorks, Inc., 2014;
6. Лозинський А.О., Мороз В.І., Паранчук Я.С. Розв'язування задач електромеханіки в середовищі пакетів MathCAD і MATLAB: Навчальний посібник. – Львів: Видавництво Державного університету “Львівська політехніка”, 2000. – 166 с;
7. Simulink. Dynamic System Simulation for MATLAB. – The MathWorks, 1999. – 604 p;
8. SimPowerSystems User's Guide. – Hydro-Quebec and The MathWorks, Inc., 2009. – 402 p;
9. Шевченко І.С., Морозов Д.І. Спеціальні питання теорії електропривода. Динаміка асинхронного електропривода: навч. посібник / І.С. Шевченко, Д.І. Морозов. – Київ: Кафедра, 2014. – 328 с;
10. Толочко О.І., Чекавський Г.С., Мірошник Д.М. Векторні моделі асинхронного двигуна у середовищі пакета MATLAB // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету: Наукові праці КДПУ. – 2003. – Т.1. – № 2 (19). – С. 199-202.

Додаткова

1. Перхач В. С. Теоретична електротехніка / Перхач В. С. – К.: Вища школа. – 1992. – 439 с.
2. Толочко О.І. Розробка моделей складних електромеханічних систем в середовищі пакета MATLAB з використанням блоків додатку віртуального фізичного моделювання Simscape // Вісник НТУ «ХПІ». Проблеми автоматизованого електропривода. – Харків: НТУ «ХПІ», 2015, 12 (1121). – С.118-123.
3. Armstrong B., de Wit C.C. Friction Modeling and Compensation. The Control Handbook. – CRC Press, 1995.
4. R. Ierusalimschy, L. H. De Figueiredo, W. Celes Reference Manual for the programming language Lua 5.1, Lua.org, August 2006 – ISBN 85-903798-3-3
5. Мілих В.І. Електротехніка, електроніка та мікропроцесорна техніка / В.І. Мілих, О.О. Шавьолкін – К.: Каравела, 2016. – 688 с.

11. Інформаційні ресурси

1. Бібліотека Національного університету біоресурсів і природокористування України.
2. Наукові мережі:
 - <http://usw.com.ua/> - **Ukrainian Scientists Worldwide** (Українські науковці у світі).
 Мережа для українських науковців та всіх, хто цікавиться наукою в Україні.
 - URAN –Ukrainian Research and Academic Network (www.uran.net.ua).
 - GEANT – загальноєвропейська опорна наукова мережа, є базовою науковою мережею в Європейській інфраструктурі, доповнює і поєднує національні наукові та освітні мережі в різних країнах Європи, об'єднує більше 3 тисяч науково-дослідних і навчальних закладів, 3 мільйони індивідуальних користувачів з 35 країн Європи.
3. Науково-пошукові системи:
 - Scirus — універсальна наукова пошукова система. Здійснює повнотекстовий пошук по статтях журналів більшості великих іноземних видавництв (порядку 17 млн. статей), статтям у великих архівах статей і препринтів, науковим ресурсам Internet (більше 250 млн. проіндексованих сторінок).
 - Google Scholar — пошукова система по науковій літературі. Включає статті великих наукових видавництв, архіви препринтів, публікації на сайтах університетів, наукових суспільств і інших наукових організацій.