

Міністерство освіти і науки України
 Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій
 ім. С.З. Гжицького
 Факультет механіки, енергетики та інформаційних технологій
 Кафедра електротехнічних систем



ЗАТВЕРДЖЕНО

Гарант освітньо-професійної програми «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» другого (магістерського) рівня вищої освіти

д.т.н., професор

Андрій ЧАБАН

СИЛАБУС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

«Математичне моделювання електротехнічних систем»

ОП «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
 спеціальність

G3 «Електрична інженерія»

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) рівень

ВИКЛАДАЧ

Чабан Андрій Васильович

Електронна пошта:

atchaban@gmail.com

Профіль у *Google Scholar*

https://scholar.google.com.ua/citations?user=

xVREBaYAAAAJ&hl=ru

Телефон

+380679291114



Професор кафедри електротехнічних систем Львівського національного університету природокористування, доктор технічних наук, професор. Досвід педагогічної роботи – 30 років, автор та співавтор понад 150 наукових публікацій, з них три монографії, понад 20 навчально-методичних розробок.

Сфера наукових інтересів: електромеханічне перетворення енергії в складних динамічних системах із розподіленими параметрами; математичне моделювання динамічних процесів у прикладних задачах електротехніки, прикладної механіки та термодинаміки; модифікація інтегральних варіаційних принципів, зокрема принципу Гамільтона-Остроградського.

Опис дисципліни

Галузь знань G «Інженерія, виробництво та будівництво»

Спеціальність G3 «Електрична інженерія»

Освітньо-професійна програма «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Рівень вищої освіти: другий (магістерський) рівень

Кількість кредитів – 4

Рік підготовки, семестр – 1 рік, I семестр

Компонент освітньої програми: обов'язкова

Мова викладання: українська

Анотація навчальної дисципліни

Освітня компонента «Математичне моделювання електротехнічних систем» забезпечує формування у здобувачів вищої освіти фундаментальних знань про структуру, принципи побудови математичних моделей електротехнічних пристроїв і систем на високому науково-практичному рівні. На цій підставі розкривається можливість аналізу, синтезу та проектування сучасних об'єктів прикладних електроенергетики, електротехніки та електромеханіки. У межах зазначеної дисципліни курсу здобувачі вищої освіти на другому (магістерському) рівні формують загальні та спеціальні компетентності. Загалом ця дисципліна передбачає вивчення загальних основ математичного моделювання складних електротехнічних систем із зосередженими та розподіленими параметрами, а також загальних підходів до реалізації побудованих моделей на рівні алгоритмізації та програмної реалізації. Також, дисципліна передбачає ознайомлення з найбільш використовуваними методами побудови математичних та фізичних моделей електротехнічних об'єктів, основ чисельно-методної реалізації розроблених моделей з використанням фундаментальних законів прикладних фізики та математики. Під час вивчення курсу студентами буде розглянуто особливості виконання моделей електричних, магнітних та електромагнітних кіл.

Метою дисципліни «Математичне моделювання електротехнічних систем» є формування у студентів системи теоретичних і практичних знань для подальших підходів до побудови математичних моделей електротехнічних об'єктів, методів їх алгоритмічної реалізації і в кінцевому варіанті кількісний та якісний аналіз досліджуваних об'єктів і систем.

Завдання навчальної дисципліни передбачають:

- ❖ набуття здобувачами знань для розв'язування практичних задач із застосуванням апарата математичного моделювання для прикладних задач електротехніки, електроенергетики та електромеханіки;
- ❖ формування принципів побудови математичних моделей електротехнічних пристроїв і систем;

❖ засвоєння концепції ідентифікації, аналізу та синтезу динамічних систем на основі колових та коло-польових підходів до моделювання електричних пристроїв і систем;

❖ опанування методики моделювання електричних, магнітних та електромагнітних кіл, виходячи з теорії формалізованих методів аналізу;

❖ набуття умінь розв'язання алгебричних, диференціальних та інтегральних рівнянь динамічного стану електротехнічних об'єктів;

❖ вивчення методів аналізу перехідних процесів у системах із зосередженими електричними параметрами;

❖ формування навичок застосування техніко-економічних критеріїв під час моделювання електричних пристроїв і систем.

Пререквізити: для успішного опанування курсу «Математичне моделювання електротехнічних систем» необхідно володіти знаннями із курсів: «Фізика», «Математика», «Теоретичні основи електротехніки», «Електричні машини та апарати», «Відновлювані джерела енергії», «Основи електроприводу», «Основи електропостачання» та ін.

Постреквізити: вивчення дисципліни «Математичне моделювання електротехнічних систем» створює підґрунтя для опанування наступних компонент магістерської освітньої програми, зокрема «Методи оптимізації та їх застосування у задачах електротехніки», «Проектування систем електропостачання». Отримані знання та компетентності особливо важливі під час виконання магістерських кваліфікаційних робіт, проходження практики та розроблення комплексних проєктів. Це сприяє формуванню професійних умінь з аналізу, проектування, синтезу електротехнічних систем, а також здатності до управління технологічними процесами та впровадження інновацій в умовах сучасних викликів аграрного сектору. та ін.

Відповідно до освітньо-професійної програми «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» вивчення дисципліни забезпечує набуття здобувачами таких компетентностей та програмних результатів навчання:

Індекс в матриці ОПП	Програмні компоненти
1	2
Інтегральна компетентність	Здатність розв'язувати спеціалізовані задачі та вирішувати практичні проблеми під час професійної діяльності в галузі електроенергетики, електротехніки та електромеханіки або в процесі навчання, що передбачає застосування теорій і методів прикладної фізики та інженерних наук і характеризується комплексністю та невизначеністю умов стосовно математичного моделювання електротехнічних систем.
Загальні компетентності	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу. ❖ Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел. ❖ Здатність до використання інформаційних і комунікаційних технологій. ❖ Здатність використовувати іноземну мову для здійснення науково-технічної діяльності (за погодженням із студентами).

<p>Фахові (спеціальні) компетентності</p>	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Здатність застосовувати отримані теоретичні знання, наукові і технічні методи для вирішення науково-технічних проблем і задач електроенергетики, електротехніки та електромеханіки. ❖ Здатність демонструвати знання і розуміння математичних принципів і методів, необхідних для використання в електроенергетиці, електротехніці та електромеханіці. ❖ Здатність використовувати програмне забезпечення для комп'ютерного моделювання, автоматизованого проектування, автоматизованого виробництва і автоматизованої розробки або конструювання елементів електроенергетичних, електротехнічних та електромеханічних систем. ❖ Здатність публікувати результати своїх досліджень у наукових фахових виданнях. <p>Здатність використовувати сучасні методи математичного моделювання електричних об'єктів, явищ, пристроїв та систем, які ґрунтуються на фундаментальних засадах технічної електродинаміки, створювати ці моделі; а також уміти будувати алгоритми чисельно-методної реалізації згаданих моделей під час розв'язання прикладних задач електроенергетики, електротехніки та електромеханіки.</p> <ul style="list-style-type: none"> ❖ Здатність розробляти сучасні алгоритмічно-програмні комплекси з урахуванням методів об'єктно-орієнтовного програмування із використанням різних мов програмування, сучасних бібліотек крос-платформного програмування під час розв'язання прикладних задач електроенергетики, електротехніки та електромеханіки.
<p>Програмні результати навчання</p>	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Відтворювати процеси в електроенергетичних, електротехнічних та електромеханічних системах при їх комп'ютерному моделюванні. ❖ Опанувати нові версії або нове програмне забезпечення, призначене для комп'ютерного моделювання об'єктів та процесів у електроенергетичних, електротехнічних та електромеханічних системах. ❖ Окреслювати план заходів з підвищення надійності, безпеки експлуатації та продовження ресурсу електроенергетичного, електротехнічного та електромеханічного обладнання і відповідних комплексів і систем. ❖ Аналізувати процеси в електроенергетичному, електротехнічному та електромеханічному обладнанні і відповідних комплексах і системах. ❖ Володіти методами математичного та фізичного моделювання об'єктів та процесів у електроенергетичних, електротехнічних та електромеханічних системах. ❖ Презентувати матеріали досліджень на міжнародних наукових конференціях та семінарах, присвячених сучасним проблемам в області електроенергетики, електротехніки та електромеханіки. ❖ Брати участь у сумісних дослідженнях і розробках з іноземними науковцями та фахівцями в галузі електроенергетики, електротехніки та електромеханіки. ❖ Поєднувати різні форми науково-дослідної роботи і практичної діяльності з метою подолання розриву між теорією і практикою, науковими досягненнями і їх практичною реалізацією. ❖ Використовувати: <ul style="list-style-type: none"> – методи чисельного розв'язання систем лінійних та нелінійних алгебричних рівнянь; – чисельні методи інтегрування звичайних нелінійних диференціальних рівнянь; – чисельні методи розв'язання крайових та мішаних задач у прикладних задачах електроенергетики, електротехніки та електромеханіки.

❖ Володіти сучасними мовами об'єктно-орієнтовного програмування та методикою розробки індивідуальних програм, а також вміти реалізовувати побудовані алгоритм-програми комп'ютерних моделей електричних пристроїв і систем за допомогою алгоритмічних мов програмування.

Зміст навчальної дисципліни

№ з/п	Назви тем та їх короткий зміст
1	<p>Тема 1. Вступ. Поняття про математичне та фізичне моделювання.</p> <p>1.1 Основні означення. Приклади. Ідеї</p> <p>1.2 Концепція математичного моделювання електротехнічних, електромеханічних та електроенергетичних систем.</p> <p>1.3 Основні теореми подібності.</p> <p>1.4 Методи визначення критеріїв подібності електромеханічних явищ.</p>
2	<p>Тема 2. Формалізовані методи аналізу електричних, магнітних та електромагнітних кіл у задачах прикладної електротехніки.</p> <p>2.1 Закони електромагнетизму як основні підходи до моделювання електротехнічних, електромеханічних, електроенергетичних та енергетичних систем.</p> <p>2.2 Закони Біо-Савара, Фарадея та Максвелла. Їх використання у задачах електротехніки.</p> <p>2.3 Структурні рівняння кола та рівняння елементів віток.</p> <p>2.4 Граф. Направлений граф. Використання теорії графів для формування структурних рівнянь кола.</p> <p>2.5 Матриці інцидентів та головних перетинів. Правила їх побудови.</p>
3	<p>Тема 3. Методи пониження порядку систем рівнянь досліджуваних електричних кіл.</p> <p>3.1 Метод струмів (закони Кірхгофа). Матриця головних перетинів.</p> <p>3.2 Метод контурних струмів.</p> <p>3.3 Метод вузлових напруг.</p>
4	<p>Тема 4. Теорія диференціальних рівнянь як основний ключовий апарат у моделюванні динамічних об'єктів.</p> <p>4.1 Засади теорії звичайних диференціальних рівнянь. Використання звичайних диференціальних рівнянь в задачах прикладної електротехніки.</p> <p>4.2 Використання звичайних лінійних диференціальних рівнянь зі сталими коефіцієнтами, представлених у матрично-векторній формі.</p> <p>4.3 Засади теорії диференціальних рівнянь із частинними похідними. Використання цих рівнянь в задачах прикладної електротехніки.</p>
5	<p>Тема 5. Застосування теорії обчислювальної математики до розв'язання лінійних та нелінійних алгебричних рівнянь у задачах прикладної електротехніки.</p> <p>5.1 Метод Гауса. LU-розбиття системи рівнянь.</p> <p>5.2 Метод простої ітерації. Збіжність методу та єдність розв'язку.</p> <p>5.3 Метод Зейделя. Збіжність методу та єдність розв'язку.</p> <p>5.4 Метод Ньютона. Збіжність методу та єдність розв'язку.</p>
6	<p>Тема 6. Чисельні методи інтегрування звичайних нелінійних диференціальних рівнянь у задачах прикладної електротехніки.</p> <p>6.1 Загальні поняття про чисельні методи. Збіжність та єдність розв'язку. Жорсткі та нежорсткі диференціальні рівняння.</p> <p>6.2 Явні методи інтегрування диференціальних рівнянь. Метод Ейлера. Метод трапецій. Методи Рунге-Кутта.</p> <p>6.3 Неявні методи інтегрування диференціальних рівнянь. Неявний метод Ейлера. Покращений неявний метод Ейлера. Методи Гіра (ФДН-формула диференціювання назад).</p>
7	<p>Тема 7. Стохастичне моделювання в задачах аналізу динамічних систем.</p> <p>7.1 Основні поняття та означення.</p>

	<p>7.2 Використання апарата теорії нечітких множин в задачах математичного моделювання.</p> <p>7.3 Використання теорії дробового інтегрального числення в задачах моделювання динамічних систем (загальні поняття).</p> <p>7.4 Використання теорії генетичних алгоритмів у задачах моделювання динамічних систем (загальні поняття).</p>
8	<p>Тема 8. Використання апарата штучних нейронних мереж для задач аналізу, синтезу та ідентифікації стохастичних процесів.</p> <p>8.1 Поняття про нейронну систему головного мозку людини. Біологічний прототип.</p> <p>8.2 Способи навчання штучних нейронних мереж. Мережі з супервізором і без нього.</p> <p>8.3 Перцептрон. Структура. Типи задач, розв'язок яких можливий за допомогою перцептрона.</p> <p>8.4 Правило Гебба (Hebba).</p> <p>8.5 Метод зворотного поширення помилки (backpropagation). Алгоритм методу.</p> <p>8.6 Мережі Кохенена в задачах кластеризації механічних об'єктів. Алгоритм методу.</p>
9	<p>Тема 9. Структура та математичне моделювання задач керування.</p> <p>9.1 Основні поняття про задачі аналізу та синтезу.</p> <p>9.2 Класифікація задач оптимального керування.</p> <p>9.3 Динамічні задачі оптимального керування.</p> <p>9.4 Дослідження операцій.</p> <p>9.5 Математичний опис об'єкта керування.</p> <p>9.6 Структура об'єкту керування.</p>
10	<p>Тема 10. Об'єктно-орієнтовне моделювання динамічних процесів і систем.</p> <p>10.1 Загальні поняття про об'єктно-орієнтовне моделювання.</p> <p>10.2 Структуризація моделей.</p> <p>10.3 Методи об'єктно-орієнтовного моделювання.</p> <p>10.4 Правила побудови об'єктно-орієнтовних програм під час реалізацій відповідних моделей.</p> <p>10.5 Деякі типи загальних комп'ютерних програм, які використовуються в задачах об'єктно-орієнтовного моделювання.</p>
11	<p>Тема 11. Алгоритмізація задач моделювання в електротехніці.</p> <p>11.1 Поняття про алгоритми в теорії моделювання. Принципи та правила побудови алгоритмів.</p> <p>11.2 Алгоритм блок-схема. Правила побудови блок-схем.</p> <p>11.3 Основні засади програмування розв'язків динамічних систем у задачах прикладної електротехніки на основі алгоритм-програм та блок-схем.</p>
12	<p>Тема 12. Програмування алгоритмізаційних задач електроенергетики, електротехніки та електромеханіки.</p> <p>12.1 Використання алгоритмічних мов програмування для реалізації математичних моделей динамічних систем.</p> <p>12.2 Приклади найпростіших програм розрахунку перехідних процесів.</p> <p>12.3 Способи реалізації програм на основі алгоритмічно-програмних комплексів типу <i>MATLAB, MathCad, PE</i> та ін.</p>
13	<p>Тема 13. Чутливість системи до параметру електричних схем динамічних об'єктів.</p> <p>13.1 Основні означення. Поняття про варіаційні рівняння.</p> <p>13.2 Матриця параметричної чутливості. Методика флотування елементів згаданої матриці.</p> <p>13.3 Розрахунок параметричної чутливості в задачах електроенергетики, електротехніки та електромеханіки в теорії математичного моделювання на підставі теорії звичайних диференціальних рівнянь.</p>
14	<p>Тема 14. Статична та динамічна стійкості в задачах електротехніки.</p> <p>14.1 Основні означення.</p> <p>14.2 Поняття про статичну стійкість.</p> <p>14.3 Поняття про динамічну стійкість. Метод площ в задачах аналізу стійкості на прикладі турбоагрегату.</p> <p>14.4 Застосування другого методу Ляпунова для аналізу статичної стійкості електроенергетичних, електротехнічних та електромеханічних систем.</p>

Методи навчання. Система контролю та оцінювання результатів навчання

Навчання з дисципліни «Математичне моделювання електротехнічних систем» здійснюється із застосуванням сучасних інтерактивних та практикоорієнтованих методів, які поєднують словесні (лекція, пояснення, дискусія), наочні (демонстрація, робота з мультимедійними матеріалами) та активні форми (групові проекти, семінари-дискусії, моделювання ситуацій, аналіз кейсів). Використання методів мозкового штурму, проблемно-орієнтованих і дослідницьких підходів сприяє розвитку критичного та креативного мислення, вміння працювати в команді й приймати ефективні управлінські рішення. Ефективність забезпечується залученням сучасних цифрових інструментів, програмних засобів для планування й контролю, а також роботи з професійною літературою та науковими публікаціями.

Оцінювання результатів навчання студентів здійснюється проведенням поточного та підсумкового контролю.

Поточний контроль здійснюється під час практичних занять і має на меті перевірку рівня підготовленості студента до виконання відповідних завдань. Форми проведення поточного контролю – усне та письмове опитування, тестовий контроль.

Підсумковий контроль проводиться з метою оцінювання результатів навчання на завершальному етапі вивчення дисципліни. Підсумковий контроль здійснюється у формі екзамену.

Успішність студента оцінюється шляхом проведення поточного та підсумкового контролю.

Оцінювання здійснюється за національною шкалою – «відмінно», «добре», «задовільно», «незадовільно» та за шкалою ECTS.

Критерії оцінювання результатів навчання з навчальної дисципліни

Шкала оцінювання: національна та ECTS

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		
60-63	E	задовільно	
35-59	FX	незадовільно	не зараховано

Остаточна оцінка за курс розраховується так:

Поточне тестування та самостійна робота (разом 50 балів)														Підсумковий тест	Сума
T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	іспит	100
	7		7		8		6		7		7		8	50	

T1, T2 ... T14 – теми занять

Рекомендована література**Базова**

1. Чабан В. Й. Математичне моделювання в електротехніці. Львів: Вид-во Т. Сороки., 2010. 284 с.
2. Чабан А. Принцип Гамільтона-Остроградського в електромеханічних системах. Львів: Вид-во Т. Сороки., 2015. 488 с.
3. Бахрушин В. Є. Математичне моделювання: навч. посіб. Запоріжжя, 2003. 140 с.
4. Чорний О. П., Луговой А. В., Родькін Д. Й., Сисюк Г. Ю., Садовой О. В. Моделювання електромеханічних систем: підручник. Кременчук, 2001. 410 с.

Допоміжна

5. Павленко П.М. Основи математичного моделювання систем і процесів: навч. посіб. Київ: Книжкове вид-во НАУ, 2013. 201 с.
6. Толочко О. І. Моделювання електромеханічних систем: навчальний посібник. Київ, НТУУ «КПІ», 2016. 150 с.
7. Кириленко О. В., Сегеда М. С., Буткевич О. Ф., Мазур Т. А. Математичне моделювання в електроенергетиці. Львів: Видавництво НУ «ЛП», 2010. 610с.
8. Журахівський А. В., Кінаш Б. М., Пастух О. Р. Надійність електричних систем і мереж: навчальний посібник. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2012. 280 с.

Інформаційні ресурси

1. Бібліотечно-інформаційні ресурси – книжковий фонд, періодика та фонди на електронних носіях бібліотеки ЛНУВМБ ім. С.З. Гжицького, державних органів науково-технічної інформації, наукових, науково-технічних бібліотек та інших наукових бібліотек України.

2. Віртуальне навчальне середовище ЛНУВМБ ім. С.З. Гжицького – <https://moodle.lnup.edu.ua/course/view.php?id=10862> .

3. Електронні інформаційні ресурси мережі інтернет з переліком сайтів: (потрібно дати декілька посилань, які стосуються дисципліни)

3.1. Modeling Electrical Power Systems with Simscape (MathWorks). Он-лайн-курс / тренінг з моделювання систем електропостачання в середовищі Simulink / Simscape, який демонструє, як будувати моделі електричних компонентів, ліній, трансформаторів, тощо. URL: <https://www.mathworks.com/learn/training.html> .

3.2. Power System Modelling and Fault Analysis (Coursera). Курс, присвячений моделюванню елементів енергосистем, аналізу несправностей (коротких замикань) і використанню еквівалентних схем. URL: <https://www.coursera.org/learn/industrial-power-system-analysis-and-stability> .

3.3. MOOC: Modelling with Differential Equations (Delft University of Technology). Онлайн-курс, який вводить у цикл моделювання: як формувати математичні моделі, вирішувати диференціальні рівняння, перевіряти моделі. URL: <https://online-learning.tudelft.nl/courses/modelling-with-differential-equations>.

4. Бібліотеки: Львівського ЛНУВМБ ім. С.З. Гжицького м. Дубляни, НУ «Львівська політехніка», Львівська національна наукова бібліотека України ім. В. Стефаника, м. Львів.