

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

Кафедра «Електричні машини»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Завідувач кафедри «Електричні машини» _____ Володимир МІЛИХ
(підпис)

25 серпня 2022 року

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

«МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН»

рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

галузь знань – 14 Електрична інженерія

спеціальність – 141 Електротехніка, електроенергетика та електромеханіка

освітня програма – Електромеханіка

вид дисципліни – професійна підготовка

форма навчання – денна

Харків – 2022 рік

ЛИСТ ЗАТВЕРДЖЕННЯ

Робоча програма з навчальної дисципліни

«МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН»

Розробник:

Доцент кафедри електричних машин _____ Олена ЮР'ЄВА
(підпис)

Робоча програма розглянута та затверджена

на засіданні кафедри «Електричні машини

Протокол № 1 від 25 серпня 2022 року

Завідувач кафедри «Електричні машини» _____ Володимир МІЛИХ
(підпис)

ЛИСТ ПОГОДЖЕННЯ

Шифр та назва освітньої програми	ПІБ Гаранта ОП	Підпис, дата
Електромеханіка	Юр'єва Олена Юріївна	25.08.22

Голова групи забезпечення спеціальності _____ Олександр ЛАЗУРЕНКО
(підпис)

25 серпня 2022 року

ЛИСТ ПЕРЕЗАТВЕРДЖЕННЯ РОБОЧОЇ НАВЧАЛЬНОЇ ПРОГРАМИ

Дата засідання кафедри – розробника РПНД	Номер протоколу	Підпис завідувача кафедри	Підпис голови груп забезпечення спеціальностей

МЕТА, КОМПЕТЕНТНОСТІ, РЕЗУЛЬТАТИ НАВЧАННЯ ТА СТРУКТУРНО-ЛОГІЧНА СХЕМА ВИВЧЕННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Метою навчальної дисципліни є підготовка бакалаврів за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», що передбачає формування бази теоретичних знань з математичного моделювання електричних машин та трансформаторів, здобуття практичних умінь, навичок та інших компетентностей, достатніх для розуміння процесів та розв'язання комплексних проблем у електромеханічних системах.

Компетентності

Здатність використовувати комп'ютеризовані системи автоматизованого проектування (CAD), виготовлення (CAM) та інженерних розрахунків (CAE) та відповідні пакети прикладних програм. Здатність до теоретичного обґрунтування прийнятих рішень в процесі виконання проектно-конструкторських та дослідницьких робіт з проектування та дослідження електричних машин. Здатність використовувати сучасні методи розрахунків, моделювання та аналізу режимів роботи електромеханічного обладнання і проектування електромеханічних систем. Здатність визначати і забезпечувати оптимальні, енергоефективні та економічні режими роботи електромеханічного устаткування. Здатність виконувати експериментальні (модельні) дослідження режимів роботи електромеханічного обладнання. ПК-1, ПК-2, ПК-8, ПК-9, ПК-13.

Результати навчання

Визначати принципи побудови та нормального функціонування елементів електромеханічних комплексів та систем. Оцінювати параметри роботи електромеханічного обладнання й відповідних комплексів і систем та розробляти заходи щодо підвищення їх енергоефективності та надійності. Наслідувати зразки дій, стратегії та тактики розв'язання професійних завдань за досвідченими працівниками у галузі електромеханіки. Вдосконалювати навички роботи з сучасним обладнанням та програмним забезпеченням при виконанні розрахунків режимів роботи електромеханічного обладнання, відповідних комплексів та систем. Комбінувати методи емпіричного і теоретичного дослідження для пошуку шляхів зменшення втрат електричної енергії при її виробництві та використанні. РНп-1, РНп-3, РНп-13, РНп-15, РНп-16.

Структурно-логічна схема вивчення навчальної дисципліни

<p>Попередні дисципліни:</p> <p>Вища математика Основи електроенергетики Інформаційні технології в електричних машинах Основи програмування та комп'ютерна графіка в електричних машинах Технічна механіка Теоретичні основи електротехніки Основи метрології та електричних вимірювань Основи електроніки Електричні машини Електричні апарати Основи електропривода Загальна теорія електричних машин Теорія електромагнітних полів і процесів в електротехніці Електромагнітні комп'ютерні розрахунки електричних машин</p>	<p>Наступні дисципліни:</p> <p style="font-size: 1.2em;">Дипломне проєктування</p>
---	--

ОПИС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

(розподіл навчального часу за семестрами та видами навчальних занять)

Семестр	Загальний обсяг		За видами аудиторних занять (годин)				Індивідуальні завдання студентів (КП, КР, РГ, Р, РЕ)	Поточний контроль	Семестровий контроль	
	Всього (годин) / кредитів ECTS	З них		Лекції	Лабораторні заняття	Практичні заняття, семінари				
		Аудиторні заняття (годин)	Самостійна робота (годин)							
7	120/4	64	56	32	32	–	Р	Контрольні роботи (кількість робіт)	Залік	Екзамен
								2		+

Співвідношення кількості годин аудиторних занять до загального обсягу становить 53 %.

СТРУКТУРА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

№ з/п.	Види навчальних занять	Кількість годин	Номер семестру (якщо дисципліна викладається у декількох семестрах). Назви змістових модулів. Найменування тем та питань кожного заняття. Завдання на самостійну роботу.	Рекомендована література
1	2	3	4	5
Змістовий модуль № 1. Принципи математичного моделювання електричних машин і трансформаторів. Математичне моделювання асинхронних машин				
1	Л	2	Тема 1. Основні положення теорії моделювання Основні поняття та їхні визначення: моделювання, суб'єкт та об'єкт моделювання, модель, функції моделі. Класифікація моделей. Види моделювання: фізичне, геометричне, математичне. Етапи процесу моделювання: знання про об'єкт-оригінал, модельні експерименти, перенесення знань з моделі на об'єкт-оригінал, практична перевірка результатів моделювання.	1-4, 7-10
2	Л	2	Тема 2. Основні положення математичного моделювання електричних машин і трансформаторів Закони електромеханіки, що застосовуються при складанні математичних моделей електричних машин і трансформаторів: закон збереження енергії, зворотність електричних машин, перетворення енергії взаємно нерухомими магнітними полями, закон електромагнітної індукції, перший та другий закони Кірхгофа, закон повного струму, закон рівноваги моментів. Створення математичної моделі на прикладі трансформатора: знання про об'єкт оригінал, формалізація процесів, складання математичної моделі. Методи розв'язання математичних моделей електричних машин і трансформаторів: чисельні та аналітичні. Дослідження електричних машин і трансформаторів за допомогою математичних моделей, реалізованих в пакеті MATLAB.	1-4, 7-10
3	Л	2	Тема 3. Основні принципи математичного моделювання електричних машин Явища, що ускладнюють математичне моделювання електричних машин: насичення магнітної системи, несинусоїдний розподіл МРС у повітряному проміжку; залежність індуктивності обмоток від струмів. Ідеалізована електрична машина: визначення. Узагальнена електрична машина: визначення, просторова схема. Принципи складання математичних моделей електричних машин і трансформаторів на основі узагальненої електричної машини. Принципи складання математичної моделі узагальненої електричної машини: рівняння рівноваги ЕРС, рівняння рівноваги моментів. Просторові схеми машин змінного та постійного струму.	1-4, 7-10

1	2	3	4	5
4	Л	2	Тема 4. Метод перетворення координат Надання змінних величин узагальненим просторовим вектором. Отримання узагальненого просторового вектора через миттєві значення трифазної системи координат. Системи координат, що застосовуються в математичному моделюванні електричних машин: $\alpha\beta$, dq , xu , kh . Отримання реальних величин при розв'язанні математичної моделі електричної машини.	1-4, 7- 10
5	Л	2	Тема 5. Математична модель узагальненої електричної машини Рівняння потокозчеплень обмоток узагальненої електричної машини. Рівняння рівноваги напруг в диференціальній формі узагальненої електричної машини. Рівняння рівноваги напруг в матричній формі узагальненої електричної машини. Рівняння рівноваги моментів узагальненої електричної машини. Випадки, коли математична модель узагальненої електричної машини не має розв'язку. Математична модель узагальненої електричної машини в усталеному режимі.	1-4, 7- 10
6	Л	2	Тема 5. Математична модель узагальненої електричної машини Особливості розв'язання математичних моделей узагальненої електричної машини з урахуванням насичення магнітної системи, несинусоїдного розподілу МРС в повітряному проміжку, несиметрії кіл обмоток статора та ротора.	1-4, 7- 10
7	Л	2	Тема 6. Математичне моделювання асинхронних машин Індуктивності фазних обмоток статора та ротора асинхронної машини. Потокозчеплення фазних обмоток статора та ротора асинхронної машини. Напруги фазних обмоток статора та ротора асинхронної машини у фазній системі координат. Напруги фазних обмоток статора та ротора асинхронної машини в системі координат kh . Потокозчеплення фазних обмоток статора та ротора асинхронної машини в системі координат kh .	1-4, 7- 10
8	Л	2	Тема 6. Математичне моделювання асинхронних машин Математична модель асинхронної машини в системі координат kh . Математична модель асинхронної машини в системі координат $\alpha\beta$. Математична модель асинхронної машини в системі координат dq . Математична модель асинхронної машини в системі координат xu . Математична модель асинхронного двигуна в усталеному режимі.	1-4, 7- 10
9	Л	2	Тема 6. Математичне моделювання асинхронних машин Просторова модель двофазного асинхронного двигуна при коловому магнітному полі. Математична модель двофазного асинхронного двигуна при коловому магнітному полі для миттєвих значень. Математична модель двофазного асинхронного двигуна при коловому магнітному полі у векторній формі. Математична модель двофазного асинхронного двигуна при коловому магнітному полі з постійними коефіцієнтами.	1-4, 7- 10
10	Л	2	Тема 6. Математичне моделювання асинхронних машин Просторова модель однофазного асинхронного двигуна. Математична модель однофазного асинхронного двигуна у фазовій системі координат. Розв'язання математичної моделі однофазного асинхронного двигуна для несиметричного ротора. Розв'язання математичної моделі однофазного асинхронного двигуна для симетричного ротора. Математична модель однофазного асинхронного двигуна із симетричним ротором в системі координат $\alpha\beta$.	1-4, 7- 10

1	2	3	4	5
Змістовий модуль № 2. Математичне моделювання синхронних машин, машин постійного струму, несиметричних електричних машин				
11	Л	2	Тема 7. Математичне моделювання синхронних машин Обмотки синхронної машини. Просторова модель синхронної машини. Математична модель синхронної машини у фазовій системі координат. Рівняння потокозчеплень контурів обмоток синхронної машини (обмоток статора та збудження, демпферної обмотки).	1-4, 7– 10
12	Л	2	Тема 7. Математичне моделювання синхронних машин Власні індуктивності обмоток статора синхронних машин. Власні індуктивності обмоток ротора синхронних машин. Взаємні індуктивності між фазними обмотками статора синхронної машини. Взаємні індуктивності між фазними обмотками статора та обмоткою збудження синхронної машини. Взаємні індуктивності між фазними обмотками статора та демпферною обмоткою синхронної машини. Взаємні індуктивності між обмоткою збудження та демпферною обмоткою синхронної машини.	1-4, 7– 10
13	Л	2	Тема 7. Математичне моделювання синхронних машин Потокозчеплення контурів обмоток синхронної машини в системі координат dq . Рівняння напруг контурів обмоток синхронної машини в системі координат dq . Врахування струмів нульової послідовності синхронної машини. Перетворення величин синхронної машини з системи координат dq в систему координат $\alpha\beta$. Рівняння рівноваги моментів синхронної машини в системі координат dq .	1-4, 7– 10
14	Л	2	Тема 8. Математичне моделювання машин постійного струму Просторова модель машини постійного струму. Математична модель генератора постійного струму незалежного збудження. Математична модель генератора постійного струму змішаного збудження в усталеному режимі. Врахування насичення магнітної системи та реакції якоря при математичному моделюванні машин постійного струму.	1-4, 7– 10
15	Л	2	Тема 9. Математичне моделювання електричних машин з урахуванням вихрових струмів Причини виникнення вихрових струмів в елементах електричних машинах. Просторова модель узагальненої електричної машини з урахуванням вихрових струмів. Рівняння рівноваги напруг еквівалентного контуру вихрових струмів в листах осердя ротора асинхронної машини. Математична модель асинхронного двигуна в усталеному режимі з урахуванням вихрових струмів в осерді ротора.	1-4, 7– 10
16	Л	2	Тема 10. Математичне моделювання несиметричних електричних машин Види несиметрії електричних машин: електрична, магнітна, просторова. Методи дослідження несиметричних електричних машин: метод симетричної складової, метод обертових магнітних полів. Рівняння потокозчеплень контурів обмоток несиметричної електричної машини. Перетворення величин несиметричної електричної машини в фазовій системі координат в систему координат $\alpha\beta$. Рівняння електромагнітного моменту несиметричної електричної машини. Математична модель асинхронного генератора, що працює на несиметричне навантаження. Математична модель асинхронного генератора при несиметричному роторі. Математична модель однофазного асинхронного генератора	1-4, 7– 10

1	2	3	4	5
Лабораторні заняття				
17	ЛЗ	2	1. Моделювання роботи джерела змінного струму на RLC-навантаження	5
18	ЛЗ	2	2. Моделювання роботи однофазного лінійного трансформатора	5
19	ЛЗ	2	3. Моделювання роботи однофазного нелінійного трансформатора	5
20	ЛЗ	2	4. Захист лабораторних робіт	
21	ЛЗ	2	5. Моделювання роботи однофазного імпульсного трансформатора	5
22	ЛЗ	2	6. Моделювання роботи трифазного трансформатора	5
23	ЛЗ	2	7. Захист лабораторних робіт	
24	ЛЗ	2	8. Моделювання процесу пуску трифазного асинхронного двигуна	5
25	ЛЗ	2	9. Контрольна робота №1	
26	ЛЗ	2	10. Моделювання процесу прямого та реостатного пуску двигуна постійного струму	5
27	ЛЗ	2	11. Захист лабораторних робіт	
28	ЛЗ	2	12. Моделювання роботи синхронного генератора при автономній роботі на симетричне трифазне навантаження	5
29	ЛЗ	2	13. Моделювання роботи синхронного двигуна в режимі навантаження	5
30	ЛЗ	2	14. Захист лабораторних робіт	
32	ЛЗ	2	15. Контрольна робота №2	
31	ЛЗ	2	16. Захист розрахунково-графічного завдання	
Разом		64 години		

САМОСТІЙНА РОБОТА

№ з/п	Назва видів самостійної роботи	Кількість годин
1	Опрацювання лекційного матеріалу	8
2	Підготовка до практичних (лабораторних) занять	16
3	Виконання індивідуального завдання	30
4	Інші види самостійної роботи	2
	Разом	56

ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ

Розрахунково-графічне завдання за методичними вказівками [6]

«Математичне моделювання електричних машин»

№ з/п	Назва розділів індивідуального завдання	Терміни виконання (тиждень)
1	Видача-отримання завдання	1
2	Розрахунок процесу безреостатного пуску двигуна постійного струму паралельного збудження.	2
3	Розрахунок процесу раптового короткого замикання трифазного трансформатора.	5
4	Розрахунок електромагнітного моменту синхронного генератора в режимі раптового короткого замикання	8
5	Розрахунок параметрів і характеристик синхронного генератора	11
6	Оформлення контрольної роботи	15
7	Захист розрахунково-графічного завдання	16

МЕТОДИ НАВЧАННЯ

Навчальні технології, що використовують викладачі на лекційних та лабораторних заняттях, застосовуються відповідно до змісту робочої програми та з метою активізації навчально-пізнавальної діяльності студентів при вивченні дисципліни.

МЕТОДИ КОНТРОЛЮ

Поточний контроль реалізується у формі опитування, захисту лабораторних робіт, перевірки виконання індивідуальних завдань, проведення контрольних робіт.

Контроль складової робочої програми, яка освоюється під час самостійної роботи студента, проводиться: з лекційного матеріалу –перевіркою конспектів; з лабораторних занять – за допомогою перевірки виконаних завдань та контрольним опитуванням.

Семестровий контроль проводиться у формі екзамену по екзаменаційних білетах відповідно до навчального плану в обсязі навчального матеріалу, визначеного навчальною програмою та у терміни, що встановлені навчальним планом з урахуванням результатів поточної успішності.

Результати поточного контролю (поточна успішність) безпосередньо враховуються для виставлення оцінки з даної дисципліни.

Семестровий контроль може проводитися як в письмовій так і усній формі. Студент вважається допущеним до екзамену з навчальної дисципліни за умови захисту усіх лабораторних робіт та індивідуального завдання, передбачених навчальною програмою з дисципліни.

РОЗПОДІЛ БАЛІВ, ЯКІ ОТРИМУЮТЬ СТУДЕНТИ, ТА ШКАЛА ОЦІНЮВАННЯ ЗНАНЬ ТА УМІНЬ (НАЦІОНАЛЬНА ТА ECTS)

Таблиця 1 – Розподіл балів для оцінювання успішності студента

Контрольні роботи	Лабораторні роботи	Р	Екзамен	Сума
20	45	15	20	100

Таблиця 2 – Шкала оцінювання знань та умінь: національна та ECTS

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка ECTS	Оцінка за національною шкалою
90-100	A	відмінно
82-89	B	добре
74-81	C	
64-73	D	задовільно
60-63	E	
35-59	FX	незадовільно з можливістю повторного складання

0-34	F	незадовільно з обов'язковим повторним вивченням дисципліни
------	---	--

НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Складові частини комплексу навчально-методичного забезпечення навчальної дисципліни: план лекцій, методичне забезпечення до лабораторних робіт, розрахункового завдання та інші методичні матеріали оприлюднені на сайті кафедри електричних машин <http://web.kpi.kharkov.ua/elmarsh/nmkd/> .

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

Базова література

1. Чорний О. П. Моделювання електромеханічних систем : Підручник / О. П. Чорний, А. В. Луговой, Д. Й. Родькін , Г. Ю. Сисюк, О. В. Садовой. – Кременчук, 2001.
2. Ткачук В. І. Електромеханотроніка: Підручник / В. І. Ткачук. – Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2006.
3. Сивокобиленко В. Ф. Математичне моделювання в електротехніці і енергетиці: навчальний посібник / В. Ф. Сивокобиленко. – Донецьк: РВА ДонНТУ, 2005.
4. Чабан В. Й. Математичне моделювання в електротехніці / В. Й. Чабан – Львів: Видавництво Т. Сороки, 2010.

Допоміжна література

5. Гераїмчук М. Д. Моделювання систем у середовищі MATLAB-SIMULINK [Електронний ресурс] : комп'ютерний практикум / М. Д. Гераїмчук, Ю. Ф. Лазарєв, Т. О. Толочко ; НТУУ «КПІ». – Київ : НТУУ «КПІ», 2006.
6. Толочко О. І. Моделювання електромеханічних систем. Математичне моделювання систем асинхронного електроприводу: навчальний посібник / О. І. Толочко. – Київ, НТУУ «КПІ», 2016.
7. Васьковський Ю. М. Математичне моделювання електричних машин з постійними магнітами [Електронний ресурс] / Ю. М. Васьковський, Ю. А. Гайденко, М. А. Коваленко ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017.
8. Літерні позначення величин та параметрів електричних машин: методичні вказівки до використання в навчальному процесі кафедри «Електричні машини» для викладачів і студентів усіх спеціальностей / Укладач В.І. Мілих. – Харків: НТУ «ХПІ», 2007.

ІНФОРМАЦІЙНІ РЕСУРСИ В ІНТЕРНЕТІ

(перелік інформаційних ресурсів)

1. Офіційний сайт НТУ ХПІ». – Режим доступу: <http://www.kpi.kharkov.ua>.
 2. Домашня сторінка кафедри «Електричні машини» НТУ «ХПІ». – Режим доступу: <http://www.kpi.kharkiv.edu/kem>
- Офіційний сайт компанії The MathWorks. – Режим доступу :
<https://uk.mathworks.com>

