



ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Перший (бакалаврський)</i>
Галузь знань	<i>14 Електрична інженерія</i>
Спеціальність	<i>141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка</i>
Освітня програма	<i>Системи забезпечення споживачів електричною енергією</i>
Статус дисципліни	<i>Нормативна</i>
Форма навчання	<i>Очна (денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>2 курс, весняний семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>150 години / 5 кредитів ECTS (лекції – 36 год., практичні заняття – 18 год., лабораторні заняття – 18 год, СРС – 78 год.)</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Екзамен/ модульна контрольна робота (МКР), розрахунково-графічна робота (РГР)</i>
Розклад занять	<i>http://roz.kpi.ua/</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: к.т.н., доц. Гераскін Олександр Анатолійович, Fegasusr@gmail.com Практичні: ас. Вишневський Олексій Володимирович, https://t.me/Alexey_vishn Лабораторні: ас. Вишневський Олексій Володимирович
Розміщення курсу	<i>https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=2601</i>

Програма навчальної дисципліни

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

Програма навчальної дисципліни «Електричні машини» складена відповідно до освітньо-професійної програми підготовки бакалавра з галузі знань 14 «Електрична інженерія» за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

Метою навчальної дисципліни є формування у студентів здатностей використовувати основні закони електротехніки та електромеханіки при поясненні принципів функціонування електромеханічних перетворювачів енергії; одержання теоретичних і практичних знань процесів електромеханічного перетворення енергії в електричних машинах та трансформаторах, які є основними джерелами та споживачами електричної енергії в сучасному енергетичному процесі; вміння визначати місце, роль та особливості функціонування окремих класів електромеханічних перетворювачів енергії в структурі загальної енергетичної системи.

Предмет навчальної дисципліни – конструкція, принципи роботи, фізичні явища та процеси в електричних машинах та трансформаторах; типові математичні методи дослідження електричних машин та трансформаторів; основні характеристики електричних машин та трансформаторів.

Компетентності: (ЗК7) здатність працювати в команді; (ЗК8) здатність працювати автономно; (ФК05) здатність вирішувати комплексні спеціалізовані задачі і практичні проблеми, пов'язані з роботою електричних машин, апаратів та автоматизованого

електроприводу; (ФК09) усвідомлення необхідності підвищення ефективності електроенергетичного, електротехнічного та електромеханічного устаткування.

Програмні результати навчання: (ПР3) знати принципи роботи електричних машин, апаратів та автоматизованих електроприводів та уміти використовувати їх для вирішення практичних проблем у професійній діяльності; (ПР7) здійснювати аналіз процесів в електроенергетичному, електротехнічному та електромеханічному обладнанні, відповідних комплексах і системах; (ПР9) уміти оцінювати енергоефективність та надійність роботи електроенергетичних, електротехнічних та електромеханічних систем; (ПР19) застосовувати придатні емпіричні і теоретичні методи для зменшення втрат електричної енергії при її виробництві, транспортуванні, розподіленні та використанні.

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

Для успішного засвоєння дисципліни студент повинен володіти: теоретичною базою дисципліни «Теоретичні основи електротехніки». Дисципліна «Електричні машини», використовуючи відомі закони електротехніки, подає теорію електричних машин і трансформаторів. При вивченні конструкції та режимів роботи електричних машин та трансформаторів потрібні також знання з інженерної графіки, електротехнічних матеріалів, прикладної механіки, електроніки, основ метрології та електричним вимірюванням. Значну увагу приділено аналізу сфери застосування електричних машин та їх впливу на розвиток різноманітних галузей промисловості; передує вивченню дисципліни «Енергоефективні технології споживання електричної енергії», «Електрична частина станцій та підстанцій» та «Електропривод».

3. Зміст навчальної дисципліни

Дисципліну структурно розподілено на **6 розділів**, а саме:

1. **Вступ до дисципліни «Електричні машини»**, до якого ввійшли питання історії та сучасних наукових тенденцій розвитку електромеханіки, ролі та значенні електричних машин у сучасній електротехніці, класифікації електричних машин, номінальних даних електричних машин, матеріалів, які використовують в електромашинобудуванні.
2. **Трансформатори**, до якого ввійшли питання про призначення та класифікацію трансформаторів, основи теорії роботи трансформатора при холостому ході, короткому замиканні та під навантаженням. ККД трансформаторів. Схеми та групи з'єднання обмоток. Паралельна робота трансформаторів.
3. **Загальні питання теорії машин змінного струму**, до якого ввійшли питання електромеханічне перетворення енергії в електричних машинах змінного струму, про обмотки ЕМ змінного струму та їх ЕРС, про МРС та магнітні поля обмоток змінного струму.
4. **Асинхронні машини**, до якого ввійшли питання про конструкцію та основи теорії АМ, обертові електромагнітні моменти та механічні характеристики АМ, про однофазні асинхронні двигуни.
5. **Синхронні машини**, до якого ввійшли питання про конструкцію та основи теорії СМ, роботу трифазних СГ при симетричному навантаженні, потужність та електромагнітний момент СМ.
6. **Машини постійного струму**, до якого ввійшли питання про конструкцію та принцип дії машин постійного струму, роботу МПС при навантаженні, двигуни постійного струму.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова література

1. Белікова Л. Я. Електричні машини : навч. посіб. для студ. ВНЗ / Л. Я. Белікова, В. П. Шевченко. - О. : Наука і техніка, 2012. - 478 с. - Бібліогр.: с. 473 - укр.
2. Електричні машини і трансформатори : навч. посібник / М. О. Осташевський, О. Ю. Юр'єва; за ред. В. І. Мілих. – Харків : ФОП Панов А. М., 2017. – 452 с.
3. Кононов Б. Т. Електричні машини : підручник / Б. Т. Кононов, Г. І. Лагутін, О. Б. Котов, А. О. Нечаус; ред.: Б. Т. Кононов; Харків. ун-т Повітр. Сил ім. І. Кожедуба. - Харків : ХУПС, 2015. - 493 с. - Бібліогр.: с. 490 - укр.
4. Електричні машини: Лабораторні роботи [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», спеціалізації «Електромеханічні системи автоматизації та електропривод» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: Ю.А. Гайденко, С.С. Цивінський. – Електронні текстові дані (1 файл: 2,07 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018 - 69 с.; Ухвалено методичною радою; Протокол № 7; Дата 29.03.2018
5. Електричні машини: Робочий зошит до виконання лабораторних робіт [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», спеціалізації «Електромеханічні системи автоматизації та електропривод» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: Ю.А. Гайденко, С.С. Цивінський. – Електронні текстові дані (1 файл: 16,4 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018 – 75 с.; Ухвалено методичною радою; Протокол №7; Дата 29.03.2018
6. Реуцький М.О., Шиманська А.А. Методичні вказівки до виконання розрахунково-графічної роботи з дисципліни «Електричні машини» // К.: НТУУ «КПІ». – 46 с., 2016 Рекомендовано Вченою радою ФЕА; Протокол № 9 від 25.04.2016
7. Черник М. А., Гайдук В. Г. Електричні машини. Збірник задач // Л.: Видавництво Львівської політехніки, 2008. 176 с.
8. Дистанційний курс «Електричні машини» <https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=2601>

Додаткова література

(факультативно / ознайомлення)

9. Яцун М.А. Електричні машини : підручник / М. А. Яцун; МОНМС України, Нац. ун-т "Львів. політехніка". - Л., 2011. - 461 с. - Бібліогр.: с. 441-444. - укр.
10. Андрієнко В.М. Електричні машини : навч. посіб. для студ. ВНЗ, які навчаються за напрямом підготов. "Електротехніка та електротехнології" / В. М. Андрієнко, В. П. Куєвда; Нац. техн. ун-т України "Київ. політехн. ін-т", Нац. ун-т харч. технологій. - К., 2010. - 366 с. - Бібліогр.: 13 назв - укр.
11. Електричні машини і апарати: навчальний посібник / Ю.М. Куценко, В.Ф. Яковлев та ін. – К.: Аграрна освіта, 2011. – 449 с.
12. Метельський В.П. Електричні машини та мікромашини : навч. посіб. / В. П. Метельський; Запоріж. нац. техн. ун-т. - Вид. 3-тє, допов. та переробл. - Запоріжжя, 2010. - 660 с. - укр.
13. Загірняк М.В. Електричні машини : підручник / М. В. Загірняк, Б. І. Невзлін. - 2-ге вид., переробл. і доповн. - К. : Знання, 2009. - 399 с. - Бібліогр.: с. 399. - укр.
14. Мазуренко О.Г. Трансформатори та електричні машини : Навч. посіб. для студ. неелектротехн. спец. вищ. навч. закл / О. Г. Мазуренко, В. П. Шуліка, О. В. Журавков; Нац. ун-т харч. технологій. - Вінниця : Нова Кн., 2005. - 176 с. - Бібліогр.: с. 168. - укр.
15. Лябук М.Н. Електричні машини : Навч. посіб. / М. Н. Лябук; Луц. держ. техн. ун-т. - Луцьк : РВВ Луц. держ. техн. ун-ту, 2005. - 444 с. - Бібліогр.: с. 436. - укр.
16. Електричні машини. Навчальний посібник / Г.Г.Півняк, Ф.П.Шкрабець, В.П.Довгань. - Дніпропетровськ, Видавництво Національного гірничого університету, 2003, - 331 с.
17. Електричні машини: Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисциплін «Електричні машини» та «Силові трансформатори» для студентів напряму підготовки

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Навчальна дисципліна охоплює 36 годин лекцій, 18 годин практичних занять та 18 годин лабораторних занять, а також виконання модульної контрольної роботи (МКР) та розрахункової роботи.

Практичні заняття з дисципліни проводяться з метою закріплення теоретичних положень навчальної дисципліни і набуття студентами умінь і досвіду розв'язання задач щодо визначення параметрів і характеристик електричних машин. Виходячи з розподілу часу на вивчення дисципліни, рекомендується дев'ять практичних занять (з врахуванням часу на МКР).

Методи та форми навчання включають традиційні університетські лекції та семінарські заняття. Застосовуються стратегії активного навчання, які визначаються такими методами та технологіями: методи проблемного навчання (дослідницький метод); особистісно-орієнтовані технології, засновані на таких формах і методах навчання як кейс-технологія і проектна технологія; візуалізація та інформаційно-комунікаційні технології, зокрема електронні презентації для лекційних занять. Комунікація з викладачем будується за допомогою використання інформаційної системи «Електронний кампус», платформи дистанційного навчання «Сікорський» на базі G Suite for Education і Zoom, а також такими інструментами комунікації, як електронна пошта і Telegram. Під час навчання та для взаємодії зі студентами використовуються сучасні інформаційно-комунікаційні та мережеві технології для вирішення навчальних завдань.

Лекційні заняття

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на інформаційні джерела)
1	<u>ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1. ВСТУП ДО ДИСЦИПЛІНИ «ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ»</u> Тема 1.1 Основні закони електротехніки, які використовуються в електричних машинах та апаратах. ○ Закони Ома, Кірхгофа, електромагнітної індукції, Джоуля-Ленца, сила Лоренца, сила Ампера. ○ Схеми з'єднання обмоток трифазного трансформатора. Тема 1.2 Вступ в електромеханіку. Основні терміни та визначення ○ Загальні поняття та визначення ○ Принципи електромеханіки ○ Класифікація електричних машин ○ Переваги та недоліки електричних машин ○ Матеріали, які використовують в електромашинобудуванні ○ Номінальні дані електричних машин Літературні джерела: [1-3, 8-16]
2	ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 2. ТРАНСФОРМАТОРИ Тема 2.1 Конструкція трансформаторів напруги ○ Типи конструкцій магнітопроводів трансформаторів ○ Типи конструкцій обмоток трансформаторів ○ Переваги масляного охолодження трансформаторів Тема 2.2 Призначення та принцип роботи трансформатора напруги ○ Призначення та класифікація трансформаторів напруги ○ Принцип дії трансформатора при неробочому ході і при навантаженні. ○ Основні номінальні дані трансформаторів ○ Електромагнітні співвідношення трансформатора

	<i>Літературні джерела: [1-3, 8-16]</i>
3	<i>Тема 2.3 Холостий хід трансформатора</i> ○ Робота трансформатора в режимі холостого ходу. Основні величини ○ Розрахунок магнітного кола трансформатора ○ Явища, що виникають при намагнічування магнітопроводу ○ Вплив схеми з'єднання обмоток на роботу трифазних трансформаторів в режимі Х.Х. ○ Характеристики трансформатора, отримані з дослідів неробочого ходу та короткого замикання. <i>Тема 2.4 Основи теорії трансформаторів напруги</i> ○ Рівняння напруг однофазного трансформатора ○ Рівняння магніторушійних сил трансформатора <i>Літературні джерела: [1-3, 8-16]</i>
4	<i>Тема 2.5 Основні співвідношення в трансформаторі.</i> ○ Приведення параметрів вторинної обмотки до первинної ○ Схема заміщення і її параметри ○ Характеристики холостого ходу та короткого замикання ○ система рівнянь електрорушійних сил та струмів приведенного трансформатора. ○ Схема заміщення трансформатора та визначення її параметрів.
5	<i>Тема 2.6 Робота трансформатора під навантаженням</i> ○ Векторні діаграми трансформатора ○ Зміна напруги трансформатора при навантаженні. Зовнішні характеристики ○ Втрати потужності та ККД трансформатора ○ Характеристика ККД трансформатора. ○ Зовнішні характеристики трансформатора. ○ Енергетичні діаграми трансформатора <i>Тема 2.7 Паралельна робота трансформаторів.</i> ○ Групи з'єднань обмоток трифазних трансформаторів ○ Умови включення трансформаторів на паралельну роботу та наслідки їх невиконання. <i>Тема 2.8 Спеціальні типи трансформаторів.</i> ○ Трьохобмоткові трансформатори. ○ Автотрансформатори. ○ Пік-трансформатори. ○ Реактори і реактивні котушки. ○ Вимірювальні трансформатори струму та напруги <i>Літературні джерела: [1-3, 8-16]</i>
6	<u>ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 3. ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ ТЕОРІЇ МАШИН ЗМІННОГО СТРУМУ</u> <i>Тема 3.1. Загальні питання теорії електричних машин</i> ○ Принцип індукування ЕРС ○ Принцип утворення електромагнітного моменту ○ Принцип дії синхронного генератора ○ Принцип дії асинхронного двигуна <i>Тема 3.2. Обмотки статора машин змінного струму</i> ○ Вимоги до обмоток статора. Основні поняття і терміни обмоток статора ○ ЕРС котушки ○ Покращення форми кривої ЕРС котушки. Укорочення кроку. Коефіцієнт укорочення ○ ЕРС котушкової групи. Коефіцієнт розподілу ○ ЕРС фази. Обмотковий коефіцієнт

	○ Зубцеві гармоніки ЕРС і боротьба з ними ○ Основні типи обмоток статора ○ Побудова трифазної петльової обмотки з укороченим кроком ○ Кількість витків фази обмотки статора Літературні джерела: [1-3, 8-16]
7	Тема 3.3. Форми пазів та ізоляція обмоток статора машин змінного струму ○ Форми пазів статора ○ Коефіцієнт заповнення пазу провідниками ○ Класи нагрівостійкості ізоляції обмоток статора Тема 3.4. МРС обмоток статора машин змінного струму ○ МРС обмотки статора (МРС котушки, МРС котушкової групи, МРС фази) ○ Графічний аналіз кривої МРС обмотки статора Тема 3.5. Магнітне поле машин змінного струму ○ Кругове, еліптичне та пульсуюче магнітні поля ○ Розрахунок магнітного кола неявнополюсної електричної машини ○ Коефіцієнт магнітного насичення Літературні джерела: [1-3, 8-16]
8	<u>ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 4. АСИНХРОННІ МАШИНИ</u> Тема 4.1. Асинхронні машини. Конструкція і режими роботи ○ Конструкція асинхронних машин (АМ) з короткозамкненим і фазним роторами. ○ Схема підключення АМ до мережі ○ Принцип дії асинхронного двигуна. ○ Принцип дії асинхронного генератора. ○ Умови створення обертового магнітного поля. ○ Режими роботи асинхронних машин ○ Преваги і недоліки асинхронних двигунів Літературні джерела: [1-3, 8-16]
9	Тема 4.2. Робочий процес трифазного асинхронного двигуна ○ Магнітні потоки і індуктивні опори розсіювання асинхронних машин ○ Рівняння напруг асинхронного двигуна ○ Рівняння МРС і струмів асинхронного двигуна ○ Приведення параметрів обмотки ротора до обмотки статора ○ Схема заміщення асинхронного двигуна ○ Векторна діаграма асинхронного двигуна ○ Втрати в асинхронному двигуні. Енергетична діаграма ○ Робочі характеристики асинхронного двигуна Тема 3.2 Робочий процес асинхронної машини. ○ Поняття про ковзання АД. ○ Основні рівняння АД. ○ Схема заміщення асинхронної машини ○ Енергетична діаграма асинхронного двигуна. Літературні джерела: [1-3, 8-16]
10	Тема 4.1. Механічні характеристики асинхронного двигуна ○ Електромагнітний момент АД ○ Механічні характеристики АД. Формула Клосса ○ Вплив параметрів на механічні характеристики АД Тема 4.2 Обертові моменти та механічні характеристики асинхронної машини. ○ Моменти АМ. ○ Максимальний та пусковий моменти асинхронного двигуна. Механічна характеристика асинхронної машини. ○ Режими роботи асинхронної машини.

	○ Робочий процес та ККД асинхронного двигуна. ○ Робочі характеристики асинхронного двигуна. Літературні джерела: [1-3, 8-16]
11	Тема 4.3 Пуск трифазних асинхронних двигунів. ○ Пуск асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором. ○ Пуск асинхронного двигуна з фазним ротором. ○ Короткозамкнений асинхронний двигун з підвищеним пусковим моментом. Тема 4.4 Регулювання частоти обертання асинхронних двигунів. ○ Основні способи регулювання частоти обертання асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором. ○ Однофазні асинхронні двигуни. Застосування асинхронних генераторів. Тема 4.5. Однофазні асинхронні конденсаторні двигуни ○ Конструкція і принцип роботи однофазних АД ○ Схеми підключення однофазних АД ○ Трифазні АД, що включені в однофазну мережу Літературні джерела: [1-3, 8-16]
12	<u>ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 5. СИНХРОННІ МАШИНИ</u> Тема 5.1. Синхронні машини. Конструкція і принцип роботи ○ Конструкція синхронних машин (СМ). Схеми підключення СМ до мережі ○ Різновиди синхронних машин ○ Принцип роботи синхронних машин ○ Преваги і недоліки синхронних двигунів Тема 5.2. Особливості пуску синхронних двигунів ○ Проблема та способи пуску синхронних двигунів ○ Асинхронний пуск синхронних двигунів Тема 5.3. Магнітне поле синхронних машин ○ Магнітне поле обмотки збудження ○ Магнітне поле обмотки якоря. Реакція якоря ○ Параметри якоря СМ в усталеному режимі роботи Тема 5.4. Рівняння напруг синхронних машин ○ Рівняння напруг явнополюсних і неявнополюсних СМ ○ Векторні діаграми синхронних генераторів Літературні джерела: [1-3, 8-16]
13	Тема 5.5. Характеристики синхронних машин ○ Куткові характеристики синхронних машин ○ U-подібні характеристики синхронних машин ○ Характеристика холостого ходу синхронного генератора (СГ) ○ Характеристика короткого замикання СГ ○ Відношення короткого замикання СГ ○ Зовнішня характеристика СГ ○ Регульовальна характеристика СГ ○ Навантажувальна характеристика СГ ○ Робочі характеристики синхронного двигуна ○ Зарядна потужність Літературні джерела: [1-3, 8-16]
14	<u>ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 6. МАШИНИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ</u> Тема 6.1. Машини постійного струму. Конструкція і принцип роботи ○ Конструкція колекторних машин постійного струму ○ Принцип дії двигуна постійного струму. ○ Принцип дії генератора постійного струму. ○ Преваги і недоліки двигунів постійного струму Літературні джерела: [1-3, 8-16]

15	<i>Тема 6.2 Реакція якоря МПС.</i> ○ Поперечна розмагнічуюча дія реакції якоря МПС. ○ Поле МПС при неробочому ході. ○ Вплив поперечної реакції якоря на магнітний потік машини. <i>Тема 6.3 Види збудження МПС.</i> ○ Класифікація генераторів постійного струму (ГПС) за способом збудження. ○ Умови самозбудження ГПС. <i>Тема 6.4 ЕРС якоря та електромагнітний момент машин постійного струму.</i> ○ Електрорушійна сила обмотки якоря МПС. ○ Електромагнітний момент МПС. <i>Літературні джерела: [1-3, 8-16]</i>
16	<i>Тема 6.5. Електромагнітні співвідношення і комутація в МПС</i> ○ ЕРС обмотки якоря МПС ○ Рівняння напруг МПС ○ Електромагнітний момент МПС ○ Реакція якоря в МПС ○ Способи поліпшення комутації в МПС <i>Тема 6.6. Способи збудження та робочий режим МПС</i> ○ Способи збудження МПС ○ Режими роботи МПС ○ Втрати і ККД в МПС <i>Літературні джерела: [1-3, 8-16]</i>
17	<i>Тема 6.7. Двигуни постійного струму</i> ○ Основні рівняння ДПС ○ Частота обертання і механічні характеристики ДПС ○ Робочі характеристики ДПС з незалежним і паралельним збудженням ○ Регулювання швидкості обертання ДПС ○ Енергетична діаграма ДПС. ○ Пуск ДПС. Вимоги до пуску ДПС. Способи пуску ДПС. ○ Реверсування ДПС. ○ Механічна характеристика ДПС з паралельним збудженням. ○ Механічна характеристика ДПС з послідовним збудженням. ○ Регулювання частоти обертання ДПС з послідовним збудженням. <i>Літературні джерела: [1-3, 8-16]</i>
18	<i>Тема 6.8. Генератори постійного струму</i> ○ Генератори постійного струму (загальні формули). ○ Характеристика холостого ходу ГПС ○ Характеристика короткого замикання ГПС ○ Характеристичний (реактивний) трикутник ГПС ○ Навантажувальна характеристика ГПС ○ Зовнішня характеристика ГПС ○ Регульовальна характеристика ГПС ○ Процес самозбудження в ГПС з паралельним способом збудження ○ Енергетична діаграма ГПС. ○ Паралельна робота ГПС <i>Літературні джерела: [1-3, 8-16]</i>

Практичні заняття

№ з/п	Назва теми заняття та перелік основних питань
1,	Конструкція трансформаторів. Обмотки трансформаторів. Електромагнітні процеси

	в трансформаторах на холостому ході. Розв'язання задач. Літературні джерела: [7]
2	Розрахунок параметрів схеми заміщення трансформатора. Втрати та коефіцієнт корисної дії трансформаторів. Змінення напруги та зовнішня характеристика трансформатора. Розв'язання задач. Літературні джерела: [7]
3	Паралельна робота трансформаторів. Розподіл навантаження між трансформаторами. Розв'язання задач. Модульна контрольна робота. Літературні джерела: [7]
4	Схеми обмоток машин змінного струму. Побудови варіантів схем обмоток. Розрахунки ЕРС та МРС обмоток машин змінного струму. Літературні джерела: [7]
5	Схеми заміщення асинхронної машини. Літературні джерела: [7]
6	Потужність та втрати в асинхронних машинах. Енергетичні діаграми асинхронної машини. Літературні джерела: [7]
7	Електромагнітний момент асинхронної машини. Розв'язання задач. Літературні джерела: [7]
8	Кутові характеристики та електромагнітний момент синхронної машини. V-подібні характеристики СМ. Розв'язання задач. Літературні джерела: [7]
9	Розрахунок енергетичної діаграми машини постійного струму. Літературні джерела: [7]

Лабораторні роботи

№ з/п	Короткий зміст лабораторної роботи
1	ДОСЛІДЖЕННЯ ТРИФАЗНОГО ДВОХОБМОТКОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА (Лабораторна робота №1) (4 години) Мета роботи – ознайомитися з конструкцією трансформатора, визначити параметри і характеристики силового трансформатора за даними досліджень неробочого ходу (НХ) і короткого замикання (КЗ). Програма проведення і опрацювання результатів досліджень: 1. Зробити зовнішній огляд Т, записати заводські дані та виконати ескіз його магнітної системи. 2. Виміряти мегомметром опір ізоляції між обмотками і на корпус, а також опір ізоляції стяжних болтів на корпус. 3. Виміряти омичний опір обмоток трансформатора і привести опір до температури. 4. Зібрати схему. Зняти і побудувати характеристики НХ. Визначити: струм НХ у відсотках від номінального струму і параметри. Знайти коефіцієнт трансформації. Визначити кількість витків первинної і вторинної обмоток трансформатора. 5. Зібрати схему, подаючи напругу на обмотку ВН та закоротивши обмотку НН, зняти і побудувати характеристики КЗ. За даними досліду визначити параметри, напругу КЗ і її складові. 6. Визначити індукцію в стержні і ярмі. Користуючись значенням втрат НХ (при номінальній напрузі), розрахувати питомі втрати в сталі трансформатора. 7. Розрахувати і побудувати залежність ККД від коефіцієнта навантаження для двох значень коефіцієнта потужності. 8. За параметрами КЗ визначити зміни вторинної напруги при різних значеннях коефіцієнта навантаження для двох значень $\cos \phi_2$. Побудувати зовнішні характеристики для двох значень $\cos \phi_2$. Літературні джерела: [4, 5, 17]
2	ДОСЛІДЖЕННЯ АСИНХРОННОЇ МАШИНИ З КОРОТКОЗАМКНЕНИМ РОТОРОМ У РЕЖИМАХ ДВИГУНА ТА ГЕНЕРАТОРА (Лабораторна робота №2) (4 години)

	Мета роботи – провести дослідження, одержати параметри і характеристики асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором. Програма проведення досліджень: 1. Ознайомитися з випробуванням агрегатом. Записати дані заводського щитка асинхронної та допоміжної машин. 2. Виміряти омичні опори обмотки статора. Виміряти температуру навколишнього середовища. 3. Зібрати схему для проведення випробувань. Записати дані вимірювальних приладів і іншої апаратури, яка використовується у схемі. 4. Зняти характеристику НХ у режимі двигуна. 5. Зняти робочі характеристики асинхронної машини для режимів двигуна і генератора. Літературні джерела: [4, 5, 17]
3	ДОСЛІДЖЕННЯ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА З ФАЗНИМ РОТОРОМ (Лабораторна робота №3) (4 години) Мета роботи – провести дослід, одержати параметри і характеристики асинхронного двигуна з фазним ротором. Програма проведення досліджень: 1. Ознайомитись з випробуванням агрегатом. Записати дані заводського щитка асинхронного двигуна і допоміжної машини. 2. Виміряти омичні опори обмоток статора і ротора асинхронного двигуна. Записати температуру навколишнього середовища. 3. Зібрати схему, записати дані вимірювальних приладів і іншої апаратури, що використовується під час роботи. 4. Визначити коефіцієнт трансформації. 5. Зняти характеристики неробочого ходу (НХ). 6. Зняти характеристики короткого замикання (КЗ). 7. Зняти робочі характеристики. Літературні джерела: [4, 5, 17]
4	ВИПРОБУВАННЯ ТРИФАЗНОГО СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА В АВТОНОМНОМУ РЕЖИМІ РОБОТИ (Лабораторна робота №4) (4 години) Мета роботи – експериментально визначити основні експлуатаційні характеристики синхронного генератора (СГ), що працює в автономному режимі; вивчити вплив реакції якоря і характеру навантаження; ознайомитись з основними методами регулювання синхронного генератора в автономному режимі роботи. Програма проведення досліджень: 1. Ознайомитися з даними заводських щитків СГ і привідного двигуна постійного струму (ДПС) досліджуваного агрегату і записати їх в робочий зошит. 2. Визначити на стенді місцеположення вимірювальних приладів, навантаження, пускового і регулювальних реостатів, що відносяться до даної схеми; переписати дані вимірювальних приладів з вказівкою цін поділок шкали кожного вимірювального приладу. 3. Зібрати схему для проведення випробувань. Записати дані вимірювальних приладів і іншої апаратури, яка використовується у схемі. 4. Зняти і побудувати характеристику холостого ходу СГ. 5. Зняти і побудувати характеристику короткого замикання СГ. 6. Зняти і побудувати зовнішні характеристики СГ: а) при чисто активному навантаженні ; б) при індуктивному навантаженні. 7. Зняти і побудувати регулювальні характеристики СГ: а) при чисто активному навантаженні; б) при індуктивному навантаженні. 8. Зняти і побудувати індукційну навантажувальну характеристику СГ. 9. За даними дослідів побудувати характеристичний трикутник. Літературні джерела: [4, 5, 17]
5	Колоквіум із захисту лабораторних робіт (2 години)

6. Самостійна робота студента

№ з/п	Вид самостійної роботи	Кількість годин СРС
1	Проведення розрахунків за первинними даними електричних	10

	<i>машин, отриманими на лабораторних заняттях</i>	
<i>2</i>	<i>Розв'язок задач</i>	<i>14</i>
<i>3</i>	<i>Виконання розрахунково-графічної роботи</i>	<i>20</i>
<i>4</i>	<i>Підготовка до МКР</i>	<i>4</i>
<i>5</i>	<i>Підготовка до екзамену</i>	<i>30</i>

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Система вимог, які викладач ставить перед студентом:

- правила відвідування занять: відповідно до Наказу 1-273 від 14.09.2020 р. заборонено оцінювати присутність або відсутність здобувача на аудиторному занятті, в тому числі нараховувати заохочувальні або штрафні бали. Відповідно до РСО даної дисципліни бали нараховують за відповідні види навчальної активності на лекційних, лабораторних та практичних заняттях. Відпрацювання лабораторних робіт з дисципліни є обов'язковою умовою допуску до екзамену;
На момент проведення кожного заняття, як лекційного, так і практичного, у студента на пристрої, з якого він працює, має бути встановлено додаток Zoom (у випадку дистанційного навчання).*
- правила поведінки на заняттях: студент має можливість отримувати бали за відповідні види навчальної активності на лекційних та практичних заняттях, передбачені РСО дисципліни. Використання засобів зв'язку для пошуку інформації на гугл-диску викладача, в інтернеті, в дистанційному курсі на платформі Сікорський здійснюється за умови вказівки викладача;*
- правила захисту лабораторних робіт: допускається як індивідуальний захист лабораторних робіт, так і колективний (у складі бригади, склад якої визначають на першому лабораторному занятті). В обох випадках оцінюють індивідуальні відповіді кожного студента.*
- правила захисту індивідуальних завдань: захист розрахунково-графічної роботи з дисципліни здійснюється індивідуально і лише у випадку, коли студент не погоджується із нарахованими балами за результатами перевірки РГР (за умови дотримання календарного плану виконання РГР);*
- правила призначення заохочувальних та штрафних балів: заохочувальні та штрафні бали не входять до основної шкали РСО, а їх сума не перевищує 10% стартової шкали. Заохочувальні бали нараховують за участь у факультетських та інститутських олімпіадах з дисципліни «Електричні машини», участь у факультетських та інститутських наукових конференціях.*
- політика дедлайнів та перескладань: несвоєчасне виконання РГР та несвоєчасний захист лабораторних робіт передбачають нарахування штрафних балів.*
- політика щодо академічної доброчесності: Кодекс честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» <https://kpi.ua/files/honorcode.pdf> встановлює загальні моральні принципи, правила етичної поведінки осіб та передбачає політику академічної доброчесності для осіб, що працюють і навчаються в університеті, якими вони мають керуватись у своїй діяльності, в тому числі при вивченні та складанні контрольних заходів з дисципліни «Електричні машини»;*
- при використанні цифрових засобів зв'язку з викладачем (мобільний зв'язок, електронна пошта, переписка на форумах та у соц.мережах тощо) необхідно дотримуватись загальноприйнятих етичних норм, зокрема бути ввічливим та обмежувати спілкування робочим часом викладача.*

Інклюзивне навчання. Засвоєння знань та умінь в ході вивчення дисципліни може бути доступним для більшості осіб з особливими освітніми потребами, окрім здобувачів з серйозними вадами зору, які не дозволяють виконувати завдання за допомогою персональних комп'ютерів, ноутбуків та/або інших технічних засобів.

Навчання іноземною мовою. У ході виконання завдань студентам може бути рекомендовано звернутися до англомовних джерел.

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

Поточний контроль: МКР, розв'язання задач, захист лабораторних робіт, РГР.

Календарний контроль: провадиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу.

Семестровий контроль: екзамен

Умови допуску до семестрового контролю: мінімально позитивна оцінка за розрахунково-графічну роботу, зарахування усіх лабораторних робіт, семестровий рейтинг більше 30 балів.

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

Кількість балів	Оцінка
100-95	Відмінно
94-85	Дуже добре
84-75	Добре
74-65	Задовільно
64-60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Не виконані умови допуску	Не допущено

Рейтинг студента з кредитного модуля розраховується зі 100 балів. Екзаменаційна складова шкали R_e всього курсу дорівнює 40% від загальної рейтингової шкали, тобто 40 балів:

Стартовий рейтинг в 60 балів складається з балів, що студент протягом семестру отримує за:

1. Виконання та захист 4 лабораторних робіт: $4 \times 5 \text{ б} = 20 \text{ балів}$;
2. Виконання та захист 1 розрахунково-графічної роботи: 14 балів;
3. Виконання 1 МКР: 10 балів;
4. Робота на практичних заняттях: 16 балів;

Критерії нарахування балів:

1. Виконання та захист 4 лабораторних робіт: $4 \times 5 \text{ б} = 20 \text{ балів}$;

Ваговий бал – 5.
Максимальна кількість балів за всі лабораторні роботи дорівнює $5 \times 4 = 20 \text{ балів}$.

Критерії оцінювання

- повне виконання експериментальної частини роботи, точна обробка експериментальних даних, якісне оформлення протоколу і повна відповідь при захисті роботи – 5 балів;

	• виконання попереднього пункту з такими недоліками як: обробка експериментальних даних з незначними помилками або неякісне оформлення протоколу – 4 бали; • суттєві помилки в експериментальних даних але повне розуміння теми і матеріалу лабораторної роботи – 2 ... 3 балів; • неповна або неточна відповідь при захисті роботи і погане оформлення протоколу – 1 бал; • лабораторна робота у цілому незахищена при наявному оформленому протоколі – 0 балів.
2. Виконання індивідуального семестрового завдання (1 РГР): 14 балів;	Ваговий бал – 14. Максимальна кількість балів за виконання РГР 14 балів. <u>Критерії оцінювання</u> • повне, точне і вчасне виконання – 14 балів; • розрахунок неточний є окремі несуттєві помилки – 8...13 балів; • розрахунок неповний, є окремі суттєві помилки – 1...7 балів; • розрахунок неправильний – 0 балів; • на виконання РГР відводиться 3 тижні з моменту видачі завдання;
3. Виконання модульної контрольної роботи: 10 балів;	Ваговий бал – 10. Максимальний бал за МКР 10 балів. <u>Критерії оцінювання</u> • Повне і правильне виконання – 10 балів. • Відповіді неточні є окремі несуттєві помилки – 6...9 балів. • Відповіді неповні, є окремі суттєві помилки – 1...5 балів. • Відповіді неправильні – 0 балів. Календарний контроль базується на поточній рейтинговій оцінці. Умовою позитивної атестації є значення поточного рейтингу студента не менше 50% від максимально можливого на час атестації.
4. Робота на практичних заняттях: 16 балів;	Ваговий бал – 2 для простих задач. Ваговий бал – 4 для більш складних задач. Повне, вчасне і правильне виконання задачі оцінюється на максимальне значення вагового бала. Інакше бали за виконання задачі зменшуються.

Умови отримання першої атестації:	набрано 50% (9 б) з того, що можна набрати (19 б) • зроблено і захищено л.р. 1: 5 б • написано МКР 1: 10 б • виконано задачі на 4 бали
Умови отримання другої атестації:	набрано 50% (24 б) з того, що можна набрати (49 б) • зроблено і захищено л.р. 1...3: 15 б • зроблено і захищено РГР 1: 14 б • написано МКР 1: 10 б • виконано задачі на 10 балів
Штрафні та заохочувальні бали: • участь в удосконаленні елементів навчальної дисципліни: + 1...5 балів; Сумарна кількість як штрафних, так і заохочувальних балів не повинна перевищувати $0,1R_C = 6$ балів (для PCO-2, екзамен) або $0,1R = 10$ балів (для PCO-1, залік).	
Критерії допуску студентів до екзамену з дисципліни:	• набрати стартовий рейтинг R_C не менше 30 балів з 60 балів; • виконати і захистити всі лабораторні роботи з даної дисципліни: • виконати 1 РГР; • виконати 1 МКР.
Проведення екзамену з дисципліни: Рейтингова шкала з дисципліни складає: $R = R_C + R_E = 60 + 40 = 100 \text{ балів.}$ На екзамені студенти виконують письмову контрольну роботу, в білеті 4 питання по 10 балів кожне: 1. теоретичне питання з тематичного модулю "Трансформатори" 2. теоретичне питання з тематичного модулю "Асинхронні машини" 3. теоретичне питання з тематичного модулю "Синхронні машини" 4. теоретичне питання з тематичного модулю "Машини постійного струму" Критерії оцінювання екзаменаційної контрольної роботи: Кожне запитання (завдання) оцінюється у 10 балів за такими критеріями: • «відмінно», повна відповідь, не менше 90% потрібної інформації (повне, безпомилкове розв'язування завдання) – 10-9 балів; • «добре», достатньо повна відповідь, не менше 75% потрібної інформації або незначні неточності (повне розв'язування завдання з незначними неточностями) – 8-7 балів; • «задовільно», неповна відповідь, не менше 60% потрібної інформації та деякі помилки (завдання виконане з певними недоліками) – 7-6 балів; • «незадовільно», відповідь не відповідає умовам до «задовільно» – 0 балів. Оцінка "автоматом" не виставляється бо з дисципліни екзамен (PCO-2). Сума стартових балів та балів за екзаменаційну контрольну роботу переводиться до екзаменаційної оцінки згідно з таблицею на початку п.8	

9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

Перелік тем, які виносяться на семестровий контроль

1. Призначення електричних машин і трансформаторів. Класифікація електричних машин.
2. Принципи електромеханіки. Призначення і класифікація трансформаторів.
3. Принцип роботи та електромагнітні співвідношення трансформаторів.
4. Конструкція трансформатора напруги. Види й конструкції магнітопроводу.
5. Схеми і групи з'єднань обмоток трифазних трансформаторів.
6. Особливості розрахунку магнітного кола трансформатора.
7. Явища, що виникають при намагнічуванні магнітопроводу трансформатора.
8. Вплив схеми з'єднання обмоток на роботу трифазних трансформаторів.
9. Рівняння напруг, магніторушійних сил і струмів трансформатора.
10. Схема заміщення і векторна діаграма трансформатора.
11. Характеристики короткого замикання та холостого ходу трансформатора.
12. Втрати і ККД трансформатора. Енергетична діаграма.
13. Зовнішня характеристика трансформаторів.
14. Умови включення трансформаторів на паралельну роботу.
15. Основні типи обмоток і пазів статора машин змінного струму. Класи ізоляції обмоток статора машин змінного струму.
16. ЕРС котушки обмотки статора машин змінного струму. Способи зменшення вищих гармонік ЕРС.
17. ЕРС котушкової групи обмотки статора машин змінного струму. Коефіцієнт розподілу.
18. ЕРС фази обмоток статора машин змінного струму.
19. Зубцеві гармоніки ЕРС і боротьба з ними.
20. МРС обмоток статора машин змінного струму.
21. Поняття про кругове, еліптичне і пульсуюче магнітне поле машин змінного струму. Умови створення кругового поля.
22. Конструкція і принцип дії асинхронного двигуна.
23. Режим роботи асинхронної машини.
24. Магнітні потоки та індуктивні опори розсіювання асинхронної машини.
25. Рівняння напруг асинхронного двигуна.
26. Рівняння магніторушійних сил і струмів асинхронного двигуна.
27. Приведення параметрів обмотки ротора до обмотки статора асинхронної машини. Величини параметрів схеми заміщення асинхронного двигуна.
28. Схема заміщення і векторна діаграма асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором (для номінального режиму).
29. Втрати і ККД асинхронного двигуна. Енергетична діаграма.
30. Електромагнітний момент і механічні характеристики асинхронного двигуна.
31. Максимальний та пусковий моменти АД. Критичне ковзання. Формула Клосса.
32. Робочі характеристики асинхронного двигуна.
33. Дослід і характеристики холостого ходу асинхронного двигуна. Схема заміщення АД в режимі холостого ходу.
34. Дослід і характеристики короткого замикання асинхронного двигуна. Схема заміщення АД в режимі короткого замикання.
35. Конструкція і принцип дії синхронного генератора.
36. Типи синхронних машин і їх конструктивні відмінності.
37. Проблема пуску синхронних двигунів. Асинхронний метод пуску.
38. Магнітне поле збудження синхронних машин.
39. Реакція якоря синхронних машин.
40. Рівняння напруги синхронних машин.
41. Характеристики короткого замикання і холостого ходу синхронних машин.
42. Зовнішня, регульовальна і навантажувальна характеристики синхронних машин.
43. Кутлова характеристика явнополюсних і неявнополюсних синхронних машин.

44. Робочі характеристики синхронних двигунів.
45. U-подібні характеристики синхронних машин.
46. Конструкція, переваги і недоліки машини постійного струму (МПС).
47. Принцип роботи і способи збудження МПС.
48. ЕРС обмотки якоря і рівняння напруг МПС.
49. Електромагнітний момент і механічні характеристики ДПС.
50. Реакція якоря машин постійного струму.
51. Причини збільшення іскріння під щітками та способи поліпшення комутації в МПС.
52. Особливості пуску ДПС.
53. Регулювання швидкості обертання двигуна постійного струму.
54. Режими роботи МПС.
55. Втрати і ККД в МПС.
56. Робочі характеристики ДПС з незалежним і паралельним способом збудження.
57. Характеристики холостого ходу та короткого замикання ГПС з незалежним збудженням. Визначення коефіцієнту насичення. Характеристичний (реактивний) трикутник.
58. Зовнішня характеристика ГПС з незалежним, паралельним, послідовним та змішаним збудженням.
59. Регульовальна характеристика ГПС з незалежним, паралельним та змішаним збудженням (узгодженим та зустрічним).
60. Навантажувальна характеристика ГПС з незалежним та паралельним незалежним, паралельним та змішаним узгодженим збудженням.
61. Процес самозбудження в ГПС з паралельним способом збудження.

Здобувач вищої освіти має можливість пройти онлайн курс(и) за однією або декількома темами, передбаченими силабусом навчальної дисципліни. Онлайн курс здобувач може обрати самостійно або за рекомендацією викладача. У рейтинг здобувача можуть бути зараховані сертифікати проходження очних або дистанційних курсів за тематикою курсу на платформах Prometheus, Coursera тощо. Порядок визнання шляхом валідації результатів навчання, набутих у неформальній/інформальній освіті здобувачами усіх рівнів вищої освіти, які навчаються в КПІ ім. Ігоря Сікорського, викладено у Положенні про визнання в КПІ ім. Ігоря Сікорського результатів навчання, набутих у неформальній/інформальній освіті (затверджено та уведено в дію наказом від 09.05.2023 р. № НОН/157/2023).

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено доцентом кафедри електромеханіки ФЕА, к.т.н., доц.. Гераскіним О.А.

Ухвалено кафедрою електромеханіки (протокол № 16 від 25.06.2025 р.)

Погоджено Методичною комісією факультету¹ (протокол № 6 від 27.06.2025 р.)

¹ Методичною радою університету – для загальноуніверситетських дисциплін.