



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>Інжиніринг інтелектуальних електротехнічних та мехатронних комплексів</i>
Статус дисципліни	<i>Нормативна</i>
Форма навчання	<i>Дуальна</i>
Рік підготовки, семестр	<i>3 курс, осінній семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>150 годин / 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	<i>Лектор: PhD, асистент Стулішенко Андрій Сергійович, astulishenko96@ukr.net</i>
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 «Інжиніринг інтелектуальних електротехнічних та мехатронних комплексів» 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: (ЗК 07) здатність працювати в команді; (ЗК 08) здатність працювати автономно; (ФК 05) здатність вирішувати комплексні спеціалізовані задачі і практичні проблеми, пов'язані з роботою електричних машин, апаратів та автоматизованого

електроприводу; (ФК 09) усвідомлення необхідності підвищення ефективності електроенергетичного, електротехнічного та електромеханічного устаткування.

Програмні результати навчання: (ПРН 03) знати принципи роботи електричних машин, апаратів та автоматизованих електроприводів та уміти використовувати їх для вирішення практичних проблем у професійній діяльності; (ПРН 07) здійснювати аналіз процесів в електроенергетичному, електротехнічному та електромеханічному обладнанні, відповідних комплексах і системах; (ПРН 09) уміти оцінювати енергоефективність та надійність роботи електроенергетичних, електротехнічних та електромеханічних систем; (ПРН 18) вміти самостійно вчитися, опановувати нові знання і вдосконалювати навички роботи з сучасним обладнанням, вимірювальною технікою та прикладним програмним забезпеченням.

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

Для успішного засвоєння дисципліни студент повинен володіти теоретичною базою дисциплін «Вища математика», «Фізика», «Теоретичні основи електротехніки», «Електротехнічні матеріали», «Основи метрології та електричних вимірювань». Дисципліна «Електричні машини», спираючись на відомі закони електротехніки, подає теорію електричних машин і трансформаторів. При вивченні конструкції та режимів роботи електричних машин потрібні також знання з інженерної графіки, прикладної механіки та електроніки. Знання, отримані при вивченні дисципліни, використовуються при вивченні дисциплін «Електропривод», «Автоматизований електропривод машин та установок», «Електрична частина станцій та підстанцій», «Транспортні системи електромеханічних комплексів», а також при виконанні дипломного проєкту.

3. Зміст навчальної дисципліни

Дисципліну структурно розподілено на **7 змістових модулів**, 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.
7. **Спеціальні електричні машини**, до якого ввійшли питання про їх принципи роботи і характеристики.

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 6.050702 «Електромеханіка»/ Уклад.: М.О.Реуцький, М.Г.Анпілогов, О.М. Давидов, Є.М. Дубчак, Троян О.І.– К.: НТУУ «КПІ», 2014 - 127с.

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 двох модульних контрольних робіт (МКР) та розрахунково-графічної роботи (РГР).

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 урахуванням 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	ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1. ВСТУП ДО ДИСЦИПЛІНИ «ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ» Тема 1.1 Основні закони електротехніки, які використовуються в електричних машинах - Закони Ома, Кірхгофа, електромагнітної індукції, Джоуля-Ленца, сила Лоренца, сила Ампера - Магнітні кола електричних машин, закон повного струму, феромагнітні матеріали Тема 1.2 Вступ в електромеханіку. Основні терміни та визначення - Загальні поняття та визначення. Принципи електромеханіки. Історія та сучасні тенденції розвитку електромеханіки - Класифікація електричних машин. Оборотноість електричних машин. Переваги та недоліки електричних машин - Матеріали, які використовують в електромашинобудуванні - Номинальні дані електричних машин Літературні джерела: [1-3, 8-16]
2	ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 2. ТРАНСФОРМАТОРИ Тема 2.1 Конструкція трансформаторів - Типи конструкцій магнітопроводів трансформаторів - Типи конструкцій обмоток трансформаторів - Системи охолодження трансформаторів. Переваги масляного охолодження Тема 2.2 Призначення та принцип роботи трансформатора - Призначення та класифікація трансформаторів - Принцип дії трансформатора при неробочому ході і при навантаженні - Основні номінальні дані трансформаторів - Електромагнітні співвідношення трансформатора Літературні джерела: [1-3, 8-16]
3	Тема 2.3 Холостий хід трансформатора

	- o Робота трансформатора в режимі холостого ходу. Основні величини - o Розрахунок магнітного кола трансформатора - o Явища, що виникають при намагнічуванні магнітопроводу - o Вплив схеми з'єднання обмоток на роботу трифазних трансформаторів у режимі холостого ходу Тема 2.4 Основи теорії трансформаторів - o Рівняння напруг однофазного трансформатора - o Рівняння магніторушійних сил та струмів трансформатора Літературні джерела: [1-3, 8-16]
4	Тема 2.5 Основні співвідношення в трансформаторі - o Приведення параметрів вторинної обмотки до первинної - o Система рівнянь ЕРС та струмів приведенного трансформатора - o Схема заміщення трансформатора та визначення її параметрів - o Досліди холостого ходу та короткого замикання. Напруга короткого замикання та її складові Літературні джерела: [1-3, 8-16]
5	Тема 2.6 Робота трансформатора під навантаженням - o Векторні діаграми трансформатора - o Зміна напруги трансформатора при навантаженні. Зовнішні характеристики - o Втрати потужності та ККД трансформатора. Енергетична діаграма - o Характеристика ККД трансформатора Літературні джерела: [1-3, 8-16]
6	Тема 2.7 Паралельна робота трансформаторів - o Схеми та групи з'єднань обмоток трифазних трансформаторів - o Умови вмикання трансформаторів на паралельну роботу та наслідки їх невиконання - o Розподіл навантаження між трансформаторами, що працюють паралельно Тема 2.8 Спеціальні типи трансформаторів - o Трьохобмоткові трансформатори. Автотрансформатори - o Реактори і реактивні котушки. Пік-трансформатори - o Вимірювальні трансформатори струму та напруги Літературні джерела: [1-3, 8-16]
7	ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 3. ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ ТЕОРІЇ МАШИН ЗМІННОГО СТРУМУ Тема 3.1 Загальні питання теорії електричних машин змінного струму - o Принцип індукування ЕРС. Принцип утворення електромагнітного моменту - o Принцип дії синхронного генератора та асинхронного двигуна Тема 3.2 Обмотки статора машин змінного струму - o Вимоги до обмоток статора. Основні поняття і терміни обмоток статора - o ЕРС котушки. Покращення форми кривої ЕРС. Укорочення кроку. Коефіцієнт укорочення - o ЕРС котушкової групи. Коефіцієнт розподілу - o ЕРС фази. Обмотковий коефіцієнт. Зубцеві гармоніки ЕРС і боротьба з ними - o Основні типи обмоток статора. Побудова трифазної петльової обмотки з укороченим кроком Літературні джерела: [1-3, 8-16]
8	Тема 3.3 Форми пазів та ізоляція обмоток статора машин змінного струму - o Форми пазів статора. Коефіцієнт заповнення паза провідниками - o Класи нагрівостійкості ізоляції обмоток статора Тема 3.4 МРС обмоток статора машин змінного струму - o МРС обмотки статора (МРС котушки, МРС котушкової групи, МРС фази) - o Графічний аналіз кривої МРС обмотки статора

	<i>Тема 3.5 Магнітне поле машин змінного струму</i> - о <i>Кругове, еліптичне та пульсуюче магнітні поля</i> - о <i>Розрахунок магнітного кола неявнополюсної електричної машини. Коефіцієнт магнітного насичення</i> <i>Літературні джерела: [1-3, 8-16]</i>
9	ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 4. АСИНХРОННІ МАШИНИ <i>Тема 4.1 Асинхронні машини. Конструкція і режими роботи</i> - о <i>Конструкція асинхронних машин (АМ) з короткозамкненим і фазним роторами</i> - о <i>Схема підключення АМ до мережі. Умови створення обертового магнітного поля</i> - о <i>Принцип дії асинхронного двигуна та асинхронного генератора. Ковзання</i> - о <i>Режими роботи асинхронних машин. Переваги і недоліки асинхронних двигунів</i> <i>Літературні джерела: [1-3, 8-16]</i>
10	<i>Тема 4.2 Робочий процес трифазного асинхронного двигуна</i> - о <i>Магнітні потоки і індуктивні опори розсіювання асинхронних машин</i> - о <i>Рівняння напруг, МРС і струмів асинхронного двигуна</i> - о <i>Приведення параметрів обмотки ротора до обмотки статора</i> - о <i>Схема заміщення та векторна діаграма асинхронного двигуна</i> - о <i>Втрати в асинхронному двигуні. Енергетична діаграма. Робочі характеристики</i> <i>Літературні джерела: [1-3, 8-16]</i>
11	<i>Тема 4.3 Електромагнітний момент та механічні характеристики асинхронної машини</i> - о <i>Електромагнітний момент АД. Максимальний та пусковий моменти. Критичне ковзання. Формула Клосса</i> - о <i>Механічні характеристики АД. Вплив параметрів на механічні характеристики</i> - о <i>Досліди холостого ходу та короткого замикання асинхронного двигуна. Визначення параметрів схеми заміщення</i> <i>Літературні джерела: [1-3, 8-16]</i>
12	<i>Тема 4.4 Пуск та регулювання частоти обертання асинхронних двигунів</i> - о <i>Пуск асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором. Двигуни з підвищеним пусковим моментом</i> - о <i>Пуск асинхронного двигуна з фазним ротором</i> - о <i>Основні способи регулювання частоти обертання асинхронних двигунів</i> <i>Тема 4.5 Однофазні асинхронні двигуни та асинхронні генератори</i> - о <i>Конструкція, принцип роботи та схеми підключення однофазних і конденсаторних АД</i> - о <i>Трифазні АД, увімкнені в однофазну мережу</i> - о <i>Робота асинхронної машини в генераторному режимі. Застосування асинхронних генераторів</i> <i>Літературні джерела: [1-3, 8-16]</i>
13	ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 5. СИНХРОННІ МАШИНИ <i>Тема 5.1 Синхронні машини. Конструкція і принцип роботи</i> - о <i>Конструкція синхронних машин (СМ). Різновиди синхронних машин. Схема підключення СМ до мережі</i> - о <i>Принцип роботи синхронних машин. Переваги та недоліки синхронних двигунів</i> <i>Тема 5.2 Магнітне поле синхронних машин</i> - о <i>Магнітне поле обмотки збудження. Магнітне поле обмотки якоря. Реакція якоря</i> - о <i>Параметри якоря СМ в ustalеному режимі роботи</i> <i>Тема 5.3 Рівняння напруг синхронних машин</i> - о <i>Рівняння напруг явнополюсних і неявнополюсних СМ</i>

	о Векторні діаграми синхронних генераторів Літературні джерела: [1-3, 8-16]
14	Тема 5.4 Характеристики синхронного генератора в автономному режимі - о Характеристика холостого ходу. Характеристика короткого замикання. Відношення короткого замикання - о Зовнішня, регульовальна та навантажувальна характеристики СГ - о Характеристичний (реактивний) трикутник. Визначення параметрів СМ за даними дослідів Літературні джерела: [1-3, 8-16]
15	Тема 5.5 Паралельна робота синхронних машин з мережею - о Умови та способи вмикання СГ на паралельну роботу з мережею. Синхронізація - о Кутові характеристики синхронних машин. Регулювання активної потужності. Статична стійкість - о U-подібні характеристики. Регулювання реактивної потужності. Синхронний компенсатор Тема 5.6 Синхронні двигуни - о Проблема та способи пуску синхронних двигунів. Асинхронний пуск - о Робочі характеристики синхронних двигунів Літературні джерела: [1-3, 8-16]
16	ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 6. МАШИНИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ Тема 6.1 Машини постійного струму. Конструкція і принцип роботи - о Конструкція колекторних машин постійного струму (МПС) - о Принцип дії двигуна та генератора постійного струму. Переваги і недоліки Тема 6.2 Електромагнітні співвідношення в МПС - о ЕРС обмотки якоря. Електромагнітний момент. Рівняння напруг МПС - о Реакція якоря. Поле МПС при неробочому ході та під навантаженням - о Комутація в МПС. Способи поліпшення комутації Літературні джерела: [1-3, 8-16]
17	Тема 6.3 Генератори постійного струму - о Способи збудження МПС. Умови самозбудження генераторів - о Характеристики холостого ходу, короткого замикання, навантажувальна, зовнішня та регульовальна - о Характеристичний трикутник. Паралельна робота ГПС Тема 6.4 Двигуни постійного струму - о Основні рівняння ДПС. Механічні та робочі характеристики ДПС з різними способами збудження - о Пуск, реверсування та регулювання частоти обертання ДПС - о Втрати і ККД в МПС. Енергетична діаграма Літературні джерела: [1-3, 8-16]
18	ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 7. СПЕЦІАЛЬНІ ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ Тема 7.1 Спеціальні електричні машини. Принцип роботи і характеристики - о Вентильно-реактивні двигуни (SRM-двигуни) - о Безщіткові двигуни постійного струму та синхронні двигуни з постійними магнітами - о Крокові двигуни - о Тахогенератори та виконавчі двигуни постійного струму - о Універсальні колекторні двигуни Літературні джерела: [1-3, 8-16]

№ з/п	Назва теми заняття та перелік основних питань
1	Трансформатори: конструкція, електромагнітні процеси на холостому ході, коефіцієнт трансформації, ЕРС обмоток. Розв'язання задач. Літературні джерела: [7]
2	Схема заміщення трансформатора та визначення її параметрів за дослідями холостого ходу і короткого замикання. Втрати та ККД трансформатора. Зміна напруги та зовнішня характеристика. Розв'язання задач (оцінюване заняття). Літературні джерела: [7]
3	Схеми та групи з'єднання обмоток. Паралельна робота трансформаторів, розподіл навантаження між трансформаторами. Розв'язання задач. Літературні джерела: [7]
4	Обмотки машин змінного струму: побудова схем обмоток, розрахунок ЕРС та МРС, обмоткові коефіцієнти. Розв'язання задач (оцінюване заняття). Літературні джерела: [7]
5	Асинхронні машини: схема заміщення, приведення параметрів, ковзання, потужності та втрати, енергетична діаграма, робочі характеристики. Розв'язання задач. Літературні джерела: [7]
6	Електромагнітний момент і механічні характеристики асинхронного двигуна, формула Клосса, пуск та регулювання частоти обертання. Розв'язання задач (оцінюване заняття). МКР 1 (трансформатори, машини змінного струму, асинхронні машини). Літературні джерела: [7]
7	Синхронні машини: рівняння напруг, векторні діаграми, характеристики синхронного генератора, кутові та U-подібні характеристики, розподіл потужностей при паралельній роботі. Розв'язання задач. Літературні джерела: [7]
8	Машини постійного струму: ЕРС, електромагнітний момент, рівняння напруг, характеристики генераторів і двигунів, енергетична діаграма. Розв'язання задач (оцінюване заняття). Літературні джерела: [7]
9	Пуск, реверсування та регулювання частоти обертання двигунів постійного струму. Розв'язання комплексних задач. МКР 2 (синхронні машини, машини постійного струму). Підсумкове заняття. 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: Інструктаж з техніки безпеки. 1. Зробити зовнішній огляд трансформатора, 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 75 °С. 4. Зібрати схему. Зняти і побудувати характеристики НХ. Визначити струм НХ у відсотках від номінального струму і параметри Z_0, X_0, r_0 при $U_0 = U_{ном}$. 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 дослідів визначити

	параметри Z_k, X_k, g_k, напругу K_3 та її складові. 6. Визначити індукцію в стержні і ярмі. Користуючись значенням втрат H_X (при номінальній напрузі), розрахувати питомі втрати в сталі трансформатора. 7. Розрахувати і побудувати залежність ККД від коефіцієнта навантаження для двох значень коефіцієнта потужності: $\cos \varphi_2 = 1,0$ і $\cos \varphi_2 = 0,8$. 8. За параметрами K_3 визначити зміни вторинної напруги при різних значеннях коефіцієнта навантаження для двох значень $\cos \varphi_2$. Побудувати зовнішні характеристики для двох значень $\cos \varphi_2$. Літературні джерела: [4, 5, 17]
2	ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАЛЕЛЬНОЇ РОБОТИ ДВОХОБМОТКОВИХ ТРИФАЗНИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ (Лабораторна робота № 2) (2 години) Мета роботи – вивчити поняття групи з'єднання обмоток трансформатора (методику експериментального визначення групи); правила вмикання і роботи при паралельному з'єднанні трансформаторів. Програма проведення і опрацювання результатів досліджень: 1. Ознайомитися з досліджуваними трансформаторами і записати до протоколу випробувань паспортні дані із заводських щитків. 2. Визначити групу з'єднання обмоток трансформатора при з'єднанні вторинної обмотки в «зірку» і «трикутник». 3. Зміною схеми з'єднання, маркування початків і кінців та перестановкою маркувань затискачів вторинної обмотки по колу одержати групи 8; 6; 2; 5; 11. Побудувати векторні діаграми лінійних ЕРС для вказаних груп з'єднання обмоток. 4. Зібрати схему вмикання трансформаторів і перевірити дотримання умов вмикання у паралельну роботу двох трансформаторів. 5. Зняти і побудувати зовнішні характеристики кожного трансформатора та трансформаторів, що працюють паралельно, для двох випадків: а) при однакових напругах K_3; б) при різних напругах K_3. 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 і опрацювання результатів досліджень: 1. Ознайомитись з випробуваним 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 (H_X). 6. Зняти характеристики короткого замикання (K_3). 7. Зняти робочі характеристики. 8. Опрацювати результати дослідів: побудувати характеристики H_X, K_3 та робочі характеристики, визначити параметри схеми заміщення, розділити втрати, визначити ККД методом окремих втрат. Літературні джерела: [4, 5, 17]
4	ДОСЛІДЖЕННЯ АСИНХРОННОЇ МАШИНИ З КОРОТКОЗАМКНЕНИМ РОТОРОМ У РЕЖИМАХ ДВИГУНА ТА ГЕНЕРАТОРА (Лабораторна робота № 4) (4 години) Мета роботи – провести дослідження, одержати параметри і характеристики асинхронної машини з короткозамкненим ротором у режимах двигуна та генератора. Програма проведення і опрацювання результатів досліджень: 1. Ознайомитися з випробуваним агрегатом. Записати дані заводського щитка асинхронної та допоміжної машин. 2. Виміряти омичні опори обмотки статора. Виміряти температуру навколишнього середовища. 3. Зібрати схему. Записати дані вимірювальних приладів і іншої апаратури, яка використовується у схемі. 4. Зняти характеристику H_X у режимі двигуна. 5. Зняти робочі характеристики асинхронної машини для режимів двигуна і генератора. 6. Опрацювати результати дослідів: побудувати характеристики H_X і робочі характеристики для обох режимів, визначити гістерезисний стрибок при переході машини з режиму двигуна у генераторний і навпаки.

	Літературні джерела: [4, 5, 17]
5	ВИПРОБУВАННЯ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА, ЩО ПРАЦЮЄ ПАРАЛЕЛЬНО З МЕРЕЖЕЮ (Лабораторна робота № 5) (4 години) Мета роботи – ознайомитися з особливостями роботи синхронного генератора в комплексі з енергетичною системою (паралельно з мережею); вивчити можливості управління роботою генератора в такому режимі (вмикання, навантаження, розвантаження і відключення), а також регулювання реактивної потужності. Програма проведення і опрацювання результатів досліджень: 1. Ознайомитися з даними заводських щитків синхронного генератора і привідного двигуна і записати їх у робочий зошит. 2. Визначити на стенді місцеположення вимірювальних приладів, пускового і регулювальних реостатів, що відносяться до даної схеми; переписати дані вимірювальних приладів. 3. Зібравши схему, провести перевірку умов вмикання на паралельну роботу і включити синхронний генератор на паралельну роботу з мережею. 4. Зняти і побудувати U-подібні характеристики $I_1 = f(I_0)$ при $P_2 = \text{const}$. 5. Зняти і побудувати робочі характеристики синхронного генератора $I_1, P_1, \cos \varphi_1, \eta, M_2 = f(P_2)$ при $I_0 = \text{const}$. Літературні джерела: [4, 5, 17]

6. Самостійна робота студента

№ з/п	Вид самостійної роботи	Кількість годин СРС
1	Опрацювання лекційного матеріалу	12
2	Підготовка до практичних занять, розв'язання задач	8
3	Підготовка до лабораторних робіт, проведення розрахунків за первинними даними, отриманими на лабораторних заняттях, оформлення протоколів	14
4	Виконання розрахунково-графічної роботи	10
5	Підготовка до МКР	4
6	Підготовка до екзамену	30

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 (РСО)

Поточний контроль: дві МКР, розв'язання задач на практичних заняттях, 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: зарахування усіх лабораторних робіт, мінімально позитивна оцінка за розрахунково-графічну роботу, написання обох МКР, стартовий рейтинг не менше 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 дисципліни розраховується зі 100 балів. Екзаменаційна складова шкали R_e дорівнює 40 % від загальної рейтингової шкали, тобто 40 балів. Стартова складова R_s (сума балів, отриманих протягом семестру) становить 60 балів.	
Стартовий рейтинг у 60 балів складається з балів, що студент протягом семестру отримує за:	1. Виконання та захист 5 лабораторних робіт: $5 \times 6 = 30$ балів; 2. Робота на практичних заняттях (розв'язання задач на 4 оцінюваних заняттях): $4 \times 2 = 8$ балів; 3. Виконання двох МКР: $2 \times 5 = 10$ балів; 4. Виконання та захист розрахунково-графічної роботи: 12 балів.
Критерії нарахування балів:	
1. Виконання та захист 5 лабораторних робіт: $5 \times 6 = 30$ балів	Ваговий бал – 6. Максимальна кількість балів за всі лабораторні роботи дорівнює $6 \times 5 = 30$ балів. <u>Критерії оцінювання</u> - повне виконання експериментальної частини роботи, точна обробка експериментальних даних, якісне оформлення протоколу і повна відповідь при захисті роботи – 6 балів; - виконання попереднього пункту з такими недоліками, як обробка експериментальних даних з незначними помилками або неякісне оформлення протоколу – 5 балів; - суттєві помилки в обробці експериментальних даних, але повне розуміння теми і матеріалу лабораторної роботи – 3...4 бали; - неповна або неточна відповідь при захисті роботи і погане оформлення протоколу – 1...2 бали; - лабораторна робота не захищена (за наявності оформленого протоколу) – 0 балів.
2. Робота на практичних заняттях: 8 балів	Ваговий бал – 2. Розв'язання задач оцінюється на чотирьох практичних заняттях (заняття № 2, 4, 6, 8). Максимальна кількість балів дорівнює $2 \times 4 = 8$ балів. <u>Критерії оцінювання</u> - задачі розв'язано правильно і самостійно – 2 бали; - задачі розв'язано з окремими помилками або з допомогою викладача – 1 бал; - задачі не розв'язано – 0 балів.
3. Виконання двох МКР: $2 \times 5 = 10$ балів	Ваговий бал однієї МКР – 5. Проводяться дві МКР на практичних

	заняттях: МКР 1 за змістовими модулями 1–4 (трансформатори, загальні питання теорії машин змінного струму, асинхронні машини), МКР 2 за змістовими модулями 5–7 (синхронні машини, машини постійного струму, спеціальні електричні машини). Максимальна кількість балів дорівнює $5 \times 2 = 10$ балів. <u>Критерії оцінювання (за кожну МКР)</u> - повне і правильне виконання – 5 балів; - відповіді неточні, є окремі несуттєві помилки – 4 бали; - відповіді неповні, є окремі суттєві помилки – 2...3 бали; - виконано менше половини завдань – 1 бал; - відповіді неправильні або роботу не виконано – 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. Виконання та захист розрахунково-графічної роботи: 12 балів	Ваговий бал – 12. РГР виконується за індивідуальним варіантом відповідно до методичних вказівок [6]: розрахунок параметрів та побудова характеристик електричної машини за паспортними (каталожними) даними. <u>Критерії оцінювання</u> - повне, правильне і вчасне виконання – 11...12 балів; - розрахунок неточний, є окремі несуттєві помилки – 8...10 балів; - розрахунок неповний, є окремі суттєві помилки – 1...7 балів; - розрахунок неправильний – 0 балів; - на виконання РГР відводиться 3 тижні з моменту видачі завдання.
Умови отримання першої атестації:	набрано 50 % (8 б) з того, що можна набрати (16 б): - зроблено і захищено л.р. 1, 2: $2 \times 6 = 12$ б - виконано задачі на практичних заняттях № 2, 4: 4 б
Умови отримання другої атестації:	набрано 50 % (25 б) з того, що можна набрати (49 б): - зроблено і захищено л.р. 1...4: $4 \times 6 = 24$ б - виконано задачі на практичних заняттях № 2, 4, 6, 8: 8 б - написано МКР 1: 5 б - виконано і захищено РГР: 12 б

Штрафні та заохочувальні бали: • участь в удосконаленні елементів навчальної дисципліни, участь в олімпіадах та наукових конференціях з тематики дисципліни: +1...5 балів; • несвоєчасний захист лабораторної роботи або несвоєчасне виконання РГР (без поважної причини): –1 бал за кожну роботу. Сумарна кількість як штрафних, так і заохочувальних балів не повинна перевищувати 6 балів (10 % стартової шкали).	
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 РГР (з мінімально позитивною оцінкою); • написати обидві 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 модуля «Трансформатори»; 2. теоретичне питання з тематичного модуля «Асинхронні машини»; 3. теоретичне питання з тематичного модуля «Синхронні машини»; 4. теоретичне питання з тематичного модуля «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) – 9...10 балів; • «добре», достатньо повна відповідь, не менше 75 % потрібної інформації або незначні неточності (повне розв'язування завдання з незначними неточностями) – 7...8 балів; • «задовільно», неповна відповідь, не менше 60 % потрібної інформації та деякі помилки (завдання виконане з певними недоліками) – 6 балів; • «незадовільно», відповідь не відповідає умовам до «задовільно» – 0 балів. Оцінка «автоматом» не виставляється, оскільки з дисципліни передбачено екзамен (PCO-2). Сума стартових балів та балів за екзаменаційну контрольну роботу переводиться до екзаменаційної оцінки згідно з таблицею відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою.	

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, магніторухливих 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. *Режими 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. *Кутова 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 асистентом кафедри електромеханіки ФЕА, PhD Стулішенком А.С.

Ухвалено кафедрою електромеханіки факультету електроенерготехніки та автоматики (протокол № 14 від 02.06.2026 р.)

Погоджено методичною радою Навчально-наукового інституту енергозбереження та енергоменеджменту (протокол № 43 від 29.06.2026 р.)