

Вінницький національний технічний університет
Кафедра електромеханічних систем автоматизації в промисловості
і на транспорті
Факультет електроенергетики та електромеханіки

СИЛАБУС
з нормативної навчальної дисципліни
«Електричні машини»
I (бакалаврський) рівень вищої освіти

Галузь знань **14 – Електрична інженерія**

Спеціальність **141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка**

Викладач: **к.т.н., доцент Розводюк М. П.**

Мова викладання: **українська**

2019 рік

1. Опис навчальної дисципліни

	Денне	Заочне	Денне	Заочне
Семестр	4	4	5	5
Кредитів	3	4	6	5
Всього годин	90	120	180	150
Лекцій, год	27	10	27	5
Лабораторних занять, год.	18	5	18	10
Практичних занять, год.	9	5	27	5
Курсовий проект	–	–	+	+
Контрольна робота	–	+	–	–
Самостійна робота, год	36	100	108	130
Вид контролю	Іспит	Іспит	Іспит	Іспит

2. Передумови для вивчення

Дисципліна «Електричні машини» базується на знаннях та уміннях, отриманих студентами під час вивчення дисциплін «Вища математика», «Фізика», «Теоретичні основи електротехніки», «Основи метрології та електричних вимірювань», «Електроматеріалознавство».

Матеріал, що вивчається, забезпечує основу для вивчення дисциплін: «Спеціальні електричні машини», «Теорія електропривода», «Моделювання електромеханічних систем», «Автоматизація технологічних комплексів», «Системи керування електроприводами», «Сучасні системи керування електромеханічними системами», «Проектування систем керування електроприводами».

3. Мета та завдання навчальної дисципліни

Мета викладання дисципліни. Отримання студентами теоретичних і практичних знань процесів електромагнітного та електромеханічного перетворення енергії, конструкцій та характеристик електричних машин і трансформаторів, а також впливу їх параметрів на експлуатаційні якості машин в стаціонарних та перехідних режимах їх роботи.

Завдання вивчення дисципліни. Теоретичне та практичне освоєння електричних машин.

Програмні результати вивчення дисципліни. Згідно з вимогами освітньо-професійної програми студенти повинні:

– **знати:**

- будову та принцип роботи електричних машин;
- теорію протікання електромагнітних та електромеханічних процесів;
- експлуатаційні характеристики електричних машин,

– **вміти:**

- вибирати електричну машину або трансформатор для конкретних умов їх використання;
- аналізувати та описувати усталені та перехідні процеси в них;
- виконувати випробування основних типів електричних машин і трансформаторів;
- здійснювати технічне обслуговування електричних машин в процесі експлуатації.

Компетентності, якими повинен оволодіти здобувач освіти в результаті вивчення дисципліни. Здатність вибирати електричну машину або трансформатор для конкретних умов їх використання, аналізувати та описувати усталені та перехідні процеси в них, виконувати

випробування основних типів електричних машин і трансформаторів та їх технічне обслуговування в процесі експлуатації.

На позааудиторну роботу виносяться вивчення окремих тем курсу, підготовка до колоквіумів, виконання контрольних робіт (для студентів заочної форми навчання), підготовка до практичних та лабораторних занять, колоквіумів, тестування, написання курсового проекту, іспитів.

4. Програма навчальної дисципліни

Модуль 1

Змістовий модуль 1. Класифікація електричних машин. Трансформатори

- Тема 1.** Предмет курсу. Класифікація електричних машин.
- Тема 2.** Загальні відомості про трансформатори. Призначення та області застосування трансформаторів. Класифікація трансформаторів. Будова і принцип дії трансформатора. Номінальні величини трансформатора.
- Тема 3.** Ідеалізований трансформатор.
- Тема 4.** Струм намагнічування та струм холостого ходу трансформатора.
- Тема 5.** Комплексні рівняння і векторна діаграма трансформатора.
- Тема 6.** Схема заміщення трансформатора: складання схеми заміщення, визначення параметрів схеми заміщення. Досліди холостого ходу та короткого замикання.
- Тема 7.** Зміна вторинної напруги і зовнішні характеристики трансформатора. Зменшення спаду напруги.
- Тема 8.** Енергетична діаграма. Втрати. Коефіцієнт корисної дії трансформатора.
- Тема 9.** Схеми та групи з'єднань обмоток трансформатора.
- Тема 10.** Паралельна робота трансформаторів: умови включення на паралельну роботу; розподіл навантажень.
- Тема 11.** Регулювання напруги трансформаторів.
- Тема 12.** Багатообмоткові трансформатори та автотрансформатор.
- Тема 13.** Перехідні процеси в трансформаторах.
- Тема 14.** Вимірювальні трансформатори: області застосування; трансформатор напруги; трансформатор струму.
- Тема 15.** Трансформатори для вентильних перетворювачів; схеми з'єднання обмоток; типова потужність трансформатора; підмагнічування сердечника трансформатора; регулювання напруги.
- Тема 16.** Трансформатори для електродугового зварювання, перетворення числа фаз і частоти. Трансформатори для автоматичних пристроїв.

Модуль 2

Змістовий модуль 2.

Загальні питання машин змінного струму. Асинхронні машини

- Тема 17.** Основні види машин змінного струму. Конструкція. Способи виконання обмоток статора. Класифікація. Принцип утворення трифазної обмотки.
- Тема 18.** Електрорушійні сили, що індукуються в обмотках машин змінного струму.
- Тема 19.** Магніторушійні сили обмоток машин змінного струму.
- Тема 20.** Одношарові і двошарові обмотки. Паралельні вітки і схеми з'єднання обмоток.
- Тема 21.** Призначення і принцип дії асинхронної машини (АМ). Будова трифазного асинхронного двигуна (АД).

- Тема 22.** Робота асинхронної машини при нерухомому роторі: на холостому ході; під навантаженням; схема заміщення.
- Тема 23.** Робота асинхронної машини при роторі, що обертається: загальні відомості, перетворення активної енергії, енергетична діаграма активної потужності, ККД, коефіцієнт навантаження, перетворення реактивної потужності, схеми заміщення.
- Тема 24.** Електромагнітний момент АМ. Механічна характеристика АМ. Максимальний та пусковий моменти АД.
- Тема 25.** Стійкість роботи асинхронного двигуна.
- Тема 26.** Робочі характеристики АД: зовнішній вигляд, способи розрахунку, аналітичний метод розрахунку.
- Тема 27.** Розрахунок робочих характеристик АД з використанням кругової діаграми.
- Тема 28.** Досліди холостого ходу і короткого замикання АД.
- Тема 29.** Способи пуску асинхронного двигуна.
- Тема 30.** Регулювання швидкості обертання асинхронного двигуна.
- Тема 31.** Гальмівні режими АД.
- Тема 32.** Однофазні АД: будова, принцип роботи, двигун з пусковою обмоткою, конденсаторний двигун, схеми включення трифазного АД до однофазної мережі.

Модуль 3

Змістовий модуль 3. Синхронні машини

- Тема 33.** Призначення і принцип роботи синхронних машин. Будова синхронних машин. Конструктивна схема заміщення. Конструкція ротора. Живлення обмотки збудження. Номінальні дані синхронних машин.
- Тема 34.** Робота генератора на холостому ході. ЕРС в обмотці якоря. Форма кривої напруги. Магнітне поле збудження. Робота генератора під навантаженням. Поняття реакція якоря в синхронних машинах. Реакція якоря в неявно полюсній машині.
- Тема 35.** Векторні діаграми генератора: неявнополюсного і явнополюсного.
- Тема 36.** Зовнішня, регульовальна і навантажувальна характеристики синхронного генератора.
- Тема 37.** Визначення індуктивних опорів синхронної машини. Досліди холостого ходу і короткого замикання. Відношення короткого замикання.
- Тема 38.** Паралельна робота синхронного генератора з мережею: особливості роботи генератора на мережу великої потужності; умови синхронізації, синхронізація за допомогою лампового синхроскопа, метод грубої синхронізації.
- Тема 39.** Регулювання активної та реактивної потужностей СГ при паралельній роботі з мережею. Робота зі змінним моментом і незмінний струмом збудження. Робота зі змінним струмом збудження і незмінним моментом. U-подібні характеристики СГ.
- Тема 40.** Потужність і електромагнітний момент синхронної машини.
- Тема 41.** Статична стійкість синхронної машини: умови статичної стійкості; вплив струму збудження на стійкість.
- Тема 42.** Синхронний двигун. Векторні діаграми. Робочі характеристики.
- Тема 43.** Способи пуску синхронного двигуна.
- Тема 44.** Регулювання частоти обертання синхронного двигуна.
- Тема 45.** Вентильний двигун.
- Тема 46.** Синхронний компенсатор.
- Тема 47.** Перехідні процеси в синхронних машинах.
- Тема 48.** Втрати і ККД синхронної машини.
- Тема 49.** Спеціальні типи синхронних машин: реактивні двигуни, гістерезисні двигуни, крокові двигуни.

Тема 50. Застосування колекторних машин змінного струму. Трифазні колекторні двигуни. Однофазні колекторні двигуни.

Модуль 4

Змістовий модуль 4. Машини постійного струму

- Тема 51.** Основні частини і принцип роботи машин постійного струму (МПС). Призначення.
- Тема 52.** Електрорушійна сила і електромагнітний момент в МПС.
- Тема 53.** Реакція якоря МПС: суть явища, повздовжня та поперечна реакція якоря. Їх вплив на роботу машини. Компенсаційна обмотка.
- Тема 54.** Процес комутації МПС. Способи покращення комутації.
- Тема 55.** Втрати МПС. Номінальний та максимальний ККД. Умова максимуму ККД.
- Тема 56.** Класифікація генераторів постійного струму (ГПС) за способом збудження та їх принципіві електричні схеми. Енергетична діаграма генератора незалежного збудження.
- Тема 57.** Рівняння обертових моментів для ГПС. Рівняння вихідної напруги. Встановлення щіток на нейтраль.
- Тема 58.** Генератори незалежного збудження. Характеристики холостого ходу, короткого замикання. Характеристичний трикутник.
- Тема 59.** Зовнішня, регульовальна та навантажувальна характеристики генераторів незалежного збудження.
- Тема 60.** Генератори паралельного збудження: процес самозбудження, характеристики холостого ходу та короткого замикання.
- Тема 61.** Генератори паралельного збудження: зовнішня характеристики, регульовальна характеристики.
- Тема 62.** Генератори послідовного збудження, їх характеристики. Генератори змішаного збудження, їх характеристики.
- Тема 63.** Паралельна робота генераторів постійного струму з мережею.
- Тема 64.** Двигуни постійного струму: енергетична діаграма, рівняння обертових моментів, рівняння напруги і струму, швидкість обертання і механічні характеристики.
- Тема 65.** Способи пуску двигунів постійного струму.
- Тема 66.** Способи регулювання швидкості двигунів постійного струму. Умови їх стійкості.
- Тема 67.** Двигуни паралельного і незалежного збудження: природна швидкісна, механічна характеристики; способи регулювання швидкості.
- Тема 68.** Двигуни послідовного та змішаного збудження: природна швидкісна і механічна характеристики; способи регулювання швидкості.
- Тема 69.** Робота двигуна постійного струму в гальмівних режимах.

5. Теми практичних занять

Модуль 1

1. Розв'язування задач на процеси перетворення електричної енергії в трансформаторі.
2. Розв'язування задач (схема заміщення трансформатора, дослід ХХ. КЗ).
3. Розв'язування задач (енергетична діаграма, схеми та групи з'єднань обмоток трансформатора).
4. Розв'язування задач (паралельна робота трансформатора).

Модуль 2

5. Розв'язування задач на ЕРС, МРС машин змінного струму.

6. Розв'язування задач на процеси перетворення енергії в АД.
7. Розв'язування задач (енергетична діаграма АД, пуск АД).
8. Розв'язування задач (регулювання швидкості АД, однофазні АД).

Модуль 3

9. Розв'язування задач (синхронні генератори).
10. Розв'язування задач на процеси перетворення енергії в СМ.
11. Розв'язування задач на способи пуску СД.
12. Розв'язування задач (регулювання швидкості СД).

Модуль 4

13. Розв'язування задач (генератори постійного струму).
14. Розв'язування задач на процеси перетворення енергії в МПС
15. Розв'язування задач на способи пуску ДПС.
16. Розв'язування задач (регулювання швидкості ДПС).

6. Теми лабораторних занять

Модуль 1

- 1Т. Дослідження трифазного двообмоткового трансформатора.
- 2Т. Дослідне визначення групи з'єднання обмоток трифазного трансформатора.
- 3Т. Дослідження паралельної роботи трифазних двообмоткових трансформаторів.

Модуль 2

- 1А. Визначення втрат і ККД трифазного асинхронного двигуна.
- 3А. Дослідження способів пуску в хід трифазних асинхронних двигунів.
- 4А. Порівняння робочих властивостей двигуна в трифазному та однофазному режимах.

Модуль 3

- 1С. Випробовування трифазного синхронного генератора.
- 2С. Паралельна робота генератора з мережею.
- 3С. Випробовування трифазного синхронного двигуна.

Модуль 4

- 1П. Дослідження генераторів постійного струму з незалежним, паралельним та послідовним збудженням.
- 2П. Дослідження двигунів постійного струму паралельного збудження.
- 3П. Дослідження двигунів постійного струму послідовного збудження.

7. Індивідуальні завдання

7.1. Курсовий проект

Тема курсового проекту №1 «Розрахунок експлуатаційних характеристик електричних машин».

Зміст курсового проекту:

- 1 Розрахунок експлуатаційних характеристик трансформатора
 - 1.1 Розрахунок параметрів схеми заміщення трансформатора, напруги короткого замикання, зміни вторинної напруги та побудова векторної діаграми
 - 1.2 Дослідження паралельної роботи двох трансформаторів однакової потужності:
 - з різними коефіцієнтами трансформації і однаковими напругами короткого замикання, причому перший трансформатор включений на відпаїку $\Delta UI\%$;

- з однаковими коефіцієнтами трансформації і різними напругами короткого замикання, причому напруга КЗ другого трансформатора на $\Delta U_{кз}$ більша, ніж першого

1.3 Розрахувати ударні струми короткого замикання обмоток і їх кратності вісно номінальних

1.4 Розрахунок потужності та вибір силового трансформатора для системи ТП-ДПС

2 Розрахунок експлуатаційних характеристик асинхронного двигуна

2.1 Розрахунок параметрів схеми заміщення асинхронного двигуна

2.2 Розрахунок параметрів двигуна при номінальному навантаженні

2.3 Розрахунок пускового та максимальних моментів

2.4 Розрахунок та побудова природної механічної й робочих характеристик

2.5 Розрахунок та побудова механічних характеристик при частотному регулюванні, зміні напруги живлення, зміні опору в колі ротора

3 Розрахунок експлуатаційних характеристик машини постійного струму

3.1 Режим генератора:

- розрахунок номінальних величин для генератора незалежного збудження;
- побудова характеристичного трикутника для генератора незалежного збудження;
- розрахунок струму збудження, необхідного для компенсації розмагнічувальної дії поперечної реакції якоря;
- розрахунок втрат та ККД для генератора паралельного збудження

3.2 Режим двигуна (відповідного типу збудження):

- розрахунок номінальних параметрів двигуна;
- розрахунок і побудова природної механічної характеристики;
- розрахунок та побудова механічних характеристик при зміні: напруги живлення, магнітного потоку, опору якірного кола

Графічна частина (1 лист формату А1) повинна містити: для трансформатора – векторну діаграму; для асинхронного двигуна – природну механічну характеристику, робочі характеристики, механічні характеристики при всіх способах регулювання частоти обертання вала двигуна; для машини постійного струму – характеристичний трикутник; схему електричну принципову електродвигуна відповідного типу збудження, природну механічну характеристику, механічні характеристики при всіх способах регулювання частоти обертання вала двигуна.

Тема курсового проекту №2 «Розрахунок і конструювання трифазного асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором типу (*свій тип*)».

Зміст курсового проекту:

1 Визначення головних розмірів двигуна

2 Розрахунок обмоток

2.1 Обмотка статора

2.2 Обмотка короткозамкненого ротора

3 Розрахунок магнітного кола

3.1 Розрахунок МРС ділянок магнітного кола

3.1.1 МРС повітряного зазору

3.1.2 МРС зубців статора

3.1.3 МРС зубців ротора

3.1.4 МРС спинки статора

3.1.5 МРС спинки ротора

3.1.6 Параметри магнітного кола

- 4 Активні та індуктивні опори обмоток
 - 4.1 Опір обмотки статора
 - 4.2 Опір обмотки ротора
 - 4.3 Параметри Г-подібної схеми заміщення
 - 5 Режим холостого ходу і номінального навантаження
 - 5.1 Режим холостого ходу
 - 5.2 Режим номінального навантаження
 - 5.3 Розрахунок робочих характеристик
 - 6 Розрахунок пускового струму, пускового і максимального моментів
 - 6.1 Параметри обмоток ротора з врахуванням струму витіснення
 - 6.2 Параметри обмоток з врахуванням витіснення струму і насичення сталі зубців
 - 6.3 Пусковий струм і пусковий момент
 - 6.4 Максимальний момент
 - 7 Тепловий і вентиляційний розрахунки
 - 7.1 Тепловий розрахунок
 - 7.2 Вентиляційний розрахунок
 - 8 Маса двигуна та динамічний момент інерції
 - 9 Порівняння основних технічних показників
 - 10 Конструкція асинхронного двигуна
- Графічна частина (1 лист формату А1) повинна містити: креслення асинхронного двигуна в двох проекціях та схема його обмотки.

Тема курсового проекту №3 «Розрахунок і проектування силового трифазного масляного трансформатора (*свій тип*)».

Зміст курсового проекту:

- 1 Попередній розрахунок трансформатора
 - 1.1 Розрахунок основних електричних величин
 - 1.2 Попередній розрахунок за допомогою ORTR
- 2. Розрахунок оптимального варіанту трансформатора
 - 2.1 Перевірочний розрахунок оптимального варіанту трансформатора
 - 2.2 Вибір типу обмоток
 - 2.2.1 Розрахунок обмотки низької напруги
 - 2.2.2 Розрахунок обмотки високої напруги
- 3 Розрахунок характеристик короткого замикання
 - 3.1 Втрати короткого замикання
 - 3.2 Напруга короткого замикання
- 4 Механічні сили та напруги в обмотках
- 5 Розрахунок магнітної системи
 - 5.1 Маса магнітної системи
 - 5.2 Втрати холостого ходу
 - 5.3 Струм холостого ходу
- 6 Тепловий розрахунок трансформатора
 - 6.1 Розрахунок температурного перепаду між обмотками і маслом
 - 6.2 Вибір і розрахунок системи охолодження
 - 6.3 Розрахунок поверхні охолодження
 - 6.4 Визначення фактичних перегрівів
- 7 Техніко-економічні показники трансформатора

Графічна частина (1 лист формату А1) повинна містити: загальний вид трансформатора в трьох проекціях з необхідними розрізами і перерізами та елемент конструкції трансформатора за окремим завданням керівника.

7.2. Контрольна робота

(для студентів заочної форми навчання)

Контрольна робота складається з двох задач з розділів «Трансформатори», «Асинхронні машини».

В роботі виконується розрахунок режимів роботи електричних машин, побудова векторних діаграм.

Приблизний об'єм контрольної роботи – 12-15 листів формату А4.

8. Методи навчання

Лекція, проблемна лекція, демонстрація, зокрема, з використанням мультимедійних засобів навчання, практичні роботи, лабораторні роботи.

9. Методи контролю

Поточний контроль, який здійснюється у формі фронтального, індивідуального чи комбінованого контролю знань студентів під час лабораторних та практичних занять, тестування, колоквіумів, захисту курсового проекту, одна контрольна робота (для студентів заочної форми навчання), два іспити (по одному в кожному з семестрів).

10. Оцінювання результатів навчання

Вид роботи	Модуль			
	1	2	3	4
1. Виконання практичних завдань / 1 завдання /	2×3	2×3	2×3	2×3
2. Виконання та захист лабораторних завдань / 1 завдання /	3×4	3×4	3×4	3×4
3. Колоквіуми / 1 колоквіум /	19	20	19	20
Всього	37	38	37	38
Іспит	25		25	
Сума	100		100	

11. Політика курсу

Викладач та всі здобувачі, що вивчають цей курс, зобов'язуються дотримуватись таких положень Кодекс етики ВНТУ, Положення про академічну доброчесність студентів та науково-педагогічних працівників ВНТУ, Положення про рейтингову систему оцінювання досягнень студентів у ВНТУ та розуміють, що за їх порушення несуть особисту відповідальність.

12. Рекомендована література та інформаційні ресурси

Базова

1. Грабко В. В. Експериментальні дослідження електричних машин. Частина I. Машини постійного струму: Навчальний посібник / В. В. Грабко, М. П. Розводюк, І. В. Грабенко. – Вінниця: ВНТУ, 2005. – 86 с.

2. Грабко В. В. Експериментальні дослідження електричних машин. Частина III. Асинхронні машини. Навчальний посібник / В. В. Грабко, М. П. Розводюк, С. М. Левицький, М. О. Казак. – Вінниця: ВНТУ, 2007. – 197 с.
3. Грабко В. В. Експериментальні дослідження електричних машин. Частина IV. Трансформатори. Навчальний посібник / В. В. Грабко, М. П. Розводюк, С. М. Левицький. – Вінниця: ВНТУ, 2008. – 219 с.
4. Грабко В. В. Експериментальні дослідження електричних машин. Частина V. Синхронні машини [Текст] : навчальний посібник / В. В. Грабко, М. П. Розводюк, С. М. Левицький, І. В. Грабенко. – Вінниця : ВНТУ, 2014. – 137 с.
5. Розводюк М. П. Електричні машини. Задачі для самостійного розв'язування : навчальний посібник / М. П. Розводюк. – Вінниця: ВНТУ, 2016. – 65 с.
6. Розводюк М. П. Електричні машини. Організація самостійної роботи студентів : навчальний посібник / М. П. Розводюк. – Вінниця : ВНТУ, 2016. – 138 с.
7. Розводюк М. П. Електричні машини. Контрольні завдання для студентів напрямів підготовки «Електромеханіка», «Електротехніка та електротехнології»: навчальний посібник / М. П. Розводюк, С. М. Левицький. – Вінниця : ВНТУ, 2016. – 108 с.
8. Грабко В. В. Електричні машини. Розрахунок експлуатаційних характеристик. Курсове проектування : навчальний посібник / В. В. Грабко, М. П. Розводюк. – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 110 с.
9. Розводюк М. П. Розрахунок і конструювання трифазних асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором. Курсове проектування : навчальний посібник / М. П. Розводюк, С. М. Левицький, В. С. Бомбик. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – 135 с.
10. Павлов И. Ф. Методические указания к лабораторно-практическим занятиям по курсу «Электрические машины» Ч.III. Синхронные машины / И. Ф. Павлов, С. А. Безверхий, В. И. Нагул, В. П. Головин. – Винница: ВПИ, 1989. – 42 с.
11. Вольдек А. И. Электрические машины / А. И. Вольдек. – М.: Энергия, 1978. – 832 с.

Додаткова

1. Справочник по электрическим машинам / Под общ. ред. Копилова И. П., Клокова В. К. Т.1.2. – М : Энергоатомиздат, 1989.
2. Домбровський В. В. Основы проектирования электрических машин переменного тока / В. В. Домбровський, Г. М. Хуторецкий. – Л. : Энергия, 1974.

Інформаційні ресурси

1. В. В. Грабко, М. П. Розводюк, І. В. Грабенко. Експериментальні дослідження електричних машин. Частина I. Машини постійного струму: електронний навчальний посібник [Електронний ресурс]. Режим доступу : <http://posibnyky.vntu.edu.ua/> (дата звернення 08.08.2017). – Назва з екрана. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 39712 від 16.08.2011 року.
2. В. В. Грабко, М. П. Розводюк. Електричні машини. Розрахунок експлуатаційних характеристик. Курсове проектування : електронний навчальний посібник [Електронний ресурс]. Режим доступу : [http://posibnyky.vntu.edu.ua /](http://posibnyky.vntu.edu.ua/) (дата звернення 08.08.2017). – Назва з екрана. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 39079 від 11.07.2011 року.
3. Розводюк М.П. Електричні машини. Трансформатори. Дистанційний курс. – [Електронний ресурс]. Режим доступу : http://elearn.vntu.edu.ua/course_structure.php?CID=256 (дата звернення 08.08.2017). – Назва з екрана.