


Національний університет біоресурсів і природокористування України

Кафедра електротехніки, електромеханіки та електротехнологій


“ЗАТВЕРДЖУЮ”
Директор ННІ
енергетики, автоматики і енергозбереження
професор В.В. Каплун
_____ 2023 р.

РОЗГЛЯНУТО І СХВАЛЕНО
на засіданні кафедри
електротехніки, електромеханіки
та електротехнологій
Протокол № 12 від 29 травня 2023 р.
В о. завідувача кафедри
доцент Окушко О.В.

РОЗГЛЯНУТО
Гарант ОП «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
доцент Снявський О.Ю.

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ (назва навчальної дисципліни)

Спеціальність 141 - Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва напряму підготовки)

ННІ енергетики, автоматики і енергозбереження

Розробник: к.т.н., доцент Р.М. Чуєнко

Київ – 2023 р.

1. Опис навчальної дисципліни

Електричні машини (назва)

| Галузь знань, напрям підготовки, спеціальність, освітньо-кваліфікаційний рівень | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| Освітній ступінь | Бакалавр | |
| Спеціальність | 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка скорочений термін навчання | |
| Освітня програма | Інжиніринг електроенергетичних систем з відновлюваними джерелами | |
| Характеристика навчальної дисципліни | | |
| Вид | Обов'язкова | |
| Загальна кількість годин | 150 | |
| Кількість кредитів ECTS | 5,0 | |
| Кількість змістових модулів | 4 | |
| Курсовий проект (робота) (за наявності) | - | |
| Форма контролю | Екзамен | |
| Показники навчальної дисципліни для денної та заочної форм навчання | | |
| | денна форма навчання | заочна форма навчання |
| Рік підготовки (курс) | 1 | 2 |
| Семестр | 2 | 4 |
| Лекційні заняття | 60 год. | 4 год. |
| Практичні, семінарські заняття | - | - |
| Лабораторні заняття | 90 год. | 6 год. |
| Самостійна робота | 0 год. | 0 год. |
| Індивідуальні завдання | - | - |
| Кількість тижневих аудиторних годин для денної форми навчання | 10 год. | |

2. Мета та завдання навчальної дисципліни

Метою вивчення дисципліни «Електричні машини» є оволодіння студентами теоретичних і практичних знань з електричних машин, навчити їх кваліфіковано формулювати та вирішувати інженерні завдання проектування і технічного вдосконалення електричних машин, привиття студентам навичок творчого відношення до своєї спеціальності і свідомого застосування на практиці знань з електричних машин.

Завдання:

- засвоєння студентами основних фізичних законів і процесів, на яких засновані принципи дії електричних машин, трансформаторів і мікромашин;
- сприйняття студентами загальних законів пізнання матеріального світу на прикладі розвитку електричних машин, розкриття об'єктивних фізичних законів і зв'язків між явищами та фактами, проведення аналізу сучасного стану і основних тенденцій розвитку електромашинобудування;
- підготовка студентів до якісного освоєння теорії і практики автоматизованого електроприводу, систем автоматичного управління технологічними процесами в сільському господарстві.

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен

знати:

- конструкцію, принцип дії, теорію, основні фізичні процеси; робочі, механічні та техніко-економічні характеристики електричних машин і трансформаторів, методика заняття характеристик машин;
- фізичні закони, що лежать в основі принципу дії електричних машин, їх об'єктивну суть, взаємозв'язок явищ з позиції діалектичного матеріалу, області застосування машин і тенденції їх розвитку;
- питання стандартизації в електромашинобудуванні, вимоги стандартів на термін, визначення, режими роботи та допустимі норми нагріву машин.

вміти:

- застосовувати свої знання на практиці для правильної експлуатації і ремонту електричних машин, трансформаторів і мікромашин;
- оволодіти методикою лабораторних досліджень електричних машин, трансформаторів і мікромашин та навчатись давати їм оцінку на основі результатів дослідів;
- аналізувати явища і процеси в електричних машинах, виявляти загальність принципів та законів в роботі машин і трансформаторів.

Набуття компетентностей:

- *інтегральна компетентність (ІК):* Здатність розв'язувати спеціалізовані задачі та вирішувати практичні проблеми під час професійної діяльності у галузі електроенергетики, електротехніки та електромеханіки або у процесі

навчання, що передбачає застосування теорій та методів фізики та інженерних наук і характеризуються комплексністю та невизначеністю умов.

- **фахові (спеціальні) компетентності (ФК):**
- ФК5. Здатність вирішувати комплексні спеціалізовані задачі і практичні проблеми, пов'язані з роботою електричних машин, апаратів та автоматизованого електроприводу;
- ФК9. Усвідомлення необхідності підвищення ефективності електроенергетичного, електротехнічного та електромеханічного устаткування.

Програмні результати навчання (ПРН):

- ПРН03. Знати принципи роботи електричних машин, апаратів та автоматизованих електроприводів та уміти використовувати їх для вирішення практичних проблем у професійній діяльності.
- ПРН07. Здійснювати аналіз процесів в електроенергетичному, електротехнічному та електромеханічному обладнанні, відповідних комплексах і системах
- ПРН08. Обирати і застосовувати придатні методи для аналізу і синтезу електромеханічних та електроенергетичних систем із заданими показниками.

3. Програма навчальної дисципліни

Змістовий модуль 1. Електричні машини постійного струму

Тема 1. Загальні питання електричних машин

Структура курсу "Електричні машини" і порядок його вивчення. Соціально-економічні та науково-технічні передумови виникнення і розвитку електричних машин. Роль електричних машин в електрифікації сільського господарства. Сучасні досягнення та перспективи розвитку електричних машин. Основні визначення і класифікація електричних машин.

Тема 2. Електричні машини постійного струму

Області застосування машин постійного струму. Будова і принцип роботи колекторної машини постійного струму. Способи збудження машин постійного струму. Електромагнітний момент та зворотність електричних машин.

Тема 3. Енергетична діаграма та коефіцієнт корисної дії машини постійного струму

Втрати потужності в електричних машинах постійного струму. Поняття коефіцієнта корисної дії електричних машин постійного струму. Умови досягнення максимального значення коефіцієнта корисної дії машини постійного струму.

Тема 4. Реакція якоря машини постійного струму

Реакція якоря машини постійного струму та її види. Вплив реакції якоря на магнітний потік машини постійного струму. Способи обмеження впливу реакції якоря. Компенсаційна обмотка.

Тема 5. Обмотки якоря машин постійного струму

Призначення, вимоги, класифікація та принцип побудови обмоток якоря машин постійного струму. ЕРС обмотки якоря машини постійного струму

Тема 6. Комутація струму якоря машини постійного струму

Комутація струму якоря. Шкала іскріння. Фізична суть процесу комутації. Прямолінійна, сповільнена та прискорена комутація. Засоби покращення комутації. Додаткові полюси.

Тема 7. Генератори постійного струму

Генератори постійного струму. Характеристики генератора незалежного збудження. Процес самозбудження генератора. Характеристики генераторів паралельного, послідовного та змішаного збудження.

Тема 8. Двигуни постійного струму

Двигуни постійного струму. Способи пуску в хід і регулювання частоти обертання. Робочі та механічні характеристики двигунів паралельного, послідовного та змішаного збудження. Гальмівні режими машин постійного струму. Серії машин постійного струму. Електромашинні підсилювачі постійного струму. Квадратична схема.

Змістовий модуль 2. Трансформатори

Тема 9. Основні відомості про трансформатори

Призначення, класифікація та області застосування трансформаторів. Будова і принцип роботи трансформатора.

Тема 10. Робочий процес трансформатора

Однофазний трансформатор. Режим холостого ходу, короткого замикання та навантаження трансформатора. Основні рівняння та векторні діаграми трансформатора. Нагрів та норми нагріву трансформаторів.

Тема 11. Параметри та експлуатаційні показники трансформатора

Зведений трансформатор. Схеми заміщення трансформатора та їх параметри. Повна і спрощена векторні діаграми трансформатора за різного характеру навантаження. Зміна напруги, ККД та зовнішня характеристика трансформатора. Регулювання напруги трансформаторів.

Тема 12. Трифазний трансформатор

Явища при намагнічуванні однофазних трансформаторів. Явища при намагнічуванні трифазних трансформаторів за різних схем з'єднання обмоток.

Тема 13. Паралельна робота трансформаторів

Схеми і групи з'єднання обмоток трифазних трансформаторів. Умови включення трансформаторів на паралельну роботу. Паралельна робота

трансформаторів. Несиметричне навантаження трифазного трансформатора за різних схем з'єднання обмоток.

Тема 14. Перехідні процеси в трансформаторах

Перехідні процеси в трансформаторах у разі раптового короткого замикання та у разі вмикання в електричну мережу. Перенапруги в трансформаторах та захист від них.

Тема 15. Різновиди трансформаторів

Автотрансформатори. Багатообмоткові трансформатори. Спеціальні трансформатори: вимірювальні, зварювальні та ін.

Змістовий модуль 3. Асинхронні електричні машини

Тема 16. Загальні питання електричних машин змінного струму

Будова та принцип дії асинхронних машин. Принцип отримання обертового магнітного поля трифазної системи струмів. Принцип дії асинхронної машини. Будова та принципи дії синхронної машини

Тема 17. Електрорушійні сили обмоток змінного струму

Основні характеристики ЕРС змінного струму. ЕРС провідника. ЕРС витка і зосередженої однофазної обмотки з повним кроком. ЕРС розподіленої обмотки з повним кроком. ЕРС зосередженої обмотки з вкороченим кроком. Загальний вираз ЕРС обмотки машини змінного струму

Тема 18. Обмотки машин змінного струму

Загальні відомості про обмотки машин змінного струму. Однофазна обмотка Трифазна розподілена обмотка з повним кроком. Двошарова обмотка із вкороченим кроком

Тема 19. Магніторушійні сили обмоток змінного струму

МРС фази обмотки. МРС котушок із повним кроком. МРС котушкові групи із повним кроком. МРС фази обмотки. Обертові хвилі МРС. МРС трифазної обмотки за симетричного навантаження. МРС трифазної обмотки за несиметричного навантаження. МРС струмів нульової послідовності. МРС трифазної обмотки за несинусоїдних струмів. МРС білячої клітки.

Тема 20. Асинхронна машина за нерухомого ротора

Єдина серія трифазних асинхронних двигунів 4А. Асинхронні електродвигуни серії АИ. Асинхронна машина за нерухомого ротора. Фазорегулятор. Трифазний індукційний регулятор.

Тема 21. Асинхронна машина за обертового ротора

Зведення робочого процесу асинхронної машини за обертового ротора до робочого процесу за нерухомого ротора. Схеми заміщення асинхронної машини. Г-подібна схема заміщення.

Тема 22. Енергетична діаграма та ККД асинхронного двигуна

Режим двигуна. Режим генератора. Режим противмикання. Режим короткого замикання

Тема 23. Обертальні моменти та механічні характеристики асинхронної машини

Електром гнітний момент і механічна характеристика асинхронного двигуна. Формула Клосса. Механічна характеристика асинхронного двигуна. Процес пуску та усталений режим роботи асинхронного двигуна. Умови стійкої роботи асинхронного двигуна. Перевантажувальна здатність асинхронного двигуна. Кратності пускового моменту та пускового струму.

Тема 24. Способи пуску та регулювання частоти обертання трифазних асинхронних двигунів

Прямий пуск. Реакторний пуск. Автотрансформаторний пуск. Пуск перемиканням "зірка → трикутник". Пуск асинхронного двигуна із фазним ротором. Самозапуск асинхронних двигунів. Регулювання частоти обертання асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором. Регулювання швидкості зміною первинної частоти. Регулювання швидкості обертання зміною кількості пар полюсів p . Регулювання швидкості зменшенням первинної напруги. Імпульсне регулювання швидкості. Регулювання частоти обертання асинхронних двигунів із фазним ротором. Трифазні асинхронні двигуни з покращеними пусковими характеристиками.

Тема 25. Однофазні та спеціальні асинхронні двигуни - __ (*) – годин.

Робота асинхронного двигуна при зміні частоти. Робота двигуна при зміні напруги живлення за сталої частоти. Несиметричні режими роботи асинхронних двигунів. Однофазний асинхронний двигун. Двигун із пусковою обмоткою. Асинхронний конденсаторний двигун. Двигун з екранованими полюсами.

Змістовий модуль 4. Синхронні електричні машини

Тема 26. Реакція якоря синхронного генератора

Поздовжня та поперечна реакція якоря. Магнітні поля та ЕРС поздовжньої та поперечної реакції якоря. Індуктивні опори реакції якоря. Синхронні індуктивні опори. Векторні діаграми синхронного генератора.

Тема 27. Характеристики синхронного генератора

Характеристика холостого ходу. Навантажувальна характеристика Зовнішня характеристика. Регулювальна характеристика. Характеристика короткого замикання. Відношення короткого замикання

Тема 28. Паралельна робота синхронного генератора з електричною мережею

Умови синхронізації синхронних генераторів. Синхронні режими паралельної роботи синхронних машин. Регулювання реактивної потужності. Режим синхронного компенсатора. Регулювання активної потужності. Режими генератора і двигуна. Кутові характеристики потужності синхронних машин. Неявнополюсна машина. Поняття про статичну стійкість. Кутова характеристика реактивної потужності. Синхронізувальна потужність, синхронізувальний момент та статична перевантажувальна здатність синхронних машин. Статична перевантажувальна здатність. Робота синхронної машини за постійної потужності та змінного збудження.

Тема 29. Перехідні процеси в синхронному генераторі

Перехідні процеси у синхронних машинах. Раптове коротке замикання синхронного генератора. Ударне значення струму короткого замикання.

Тема 30. Синхронні двигуни та компенсатори

Способи пуску синхронних двигунів. Асинхронний пуск синхронних двигунів. Пуск синхронного двигуна за допомогою допоміжного двигуна. Робочі характеристики синхронного двигуна. Синхронні компенсатори.

4. Структура навчальної дисципліни

| Назви змістових модулів і тем | Кількість годин | | | | | | | | | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------|-----------------|--------------|---|-----|-----|------|--------------|--------------|----|-----|-----|------|
| | денна форма | | | | | | Заочна форма | | | | | |
| | усього | у тому числі | | | | | усього | у тому числі | | | | |
| | | л | п | лаб | інд | с.р. | | л | п | лаб | інд | с.р. |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| Змістовий модуль 1. Електричні машини постійного струму і трансформатори | | | | | | | | | | | | |
| Тема 1. Загальні питання електричних машин | 4 | 2 | | 2 | | | 4 | 2 | | 2 | | |
| Тема 2. Електричні машини постійного струму | 4 | 2 | | 2 | | | | | | | | |
| Тема 3. Енергетична діаграма та коефіцієнт корисної дії машини постійного струму | 6 | 2 | | 4 | | | | | | | | |
| Тема 4. Обмотки якоря машин постійного струму | 4 | 2 | | 2 | | | | | | | | |
| Тема 5 Реакція якоря машини постійного струму | 4 | 2 | | 2 | | | | | | | | |
| Тема 6. Комутація струму якоря машини постійного струму | 6 | 2 | | 4 | | | | | | | | |
| Тема 7. Генератори постійного струму | 4 | 2 | | 2 | | | | | | | | |
| Тема 8. Двигуни постійного струму | 6 | 2 | | 4 | | | | | | | | |
| Разом за змістовим модулем 1 | 38 | 16 | | 22 | | | 4 | | | | | |

| Змістовий модуль 2. Трансформатори | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------|----|----|---|----|---|---|---|---|----|----|----|----|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| Тема 9. Основні відомості про трансформатори | 4 | 2 | | 2 | | | 4 | 2 | | 2 | | |
| Тема 10. Робочий процес трансформатора | 6 | 2 | | 4 | | | | | | | | |
| Тема 11. Параметри та експлуатаційні показники трансформатора | 4 | 2 | | 2 | | | | | | | | |
| Тема 12. Трифазний трансформатор | 6 | 2 | | 4 | | | | | | | | |
| Тема 13. Паралельна робота трансформаторів | 4 | 2 | | 2 | | | | | | | | |
| Тема 14. Перехідні процеси в трансформаторах | 6 | 2 | | 4 | | | | | | | | |
| Тема 15. Різновиди трансформаторів | 4 | 2 | | 2 | | | | | | | | |
| Разом за змістовим модулем 2 | 34 | 14 | | 20 | | | 4 | | | | | |
| Змістовий модуль 3. Асинхронні електричні машини | | | | | | | | | | | | |
| Тема 16. Загальні питання електричних машин змінного струму | 4 | 2 | | 2 | | | 6 | 2 | | 4 | | |
| Тема 17. Електрорушійні сили обмоток змінного струму | 4 | 2 | | 2 | | | | | | | | |
| Тема 18. Обмотки машин змінного струму | 4 | 2 | | 2 | | | | | | | | |
| Тема 19. Магніторушійні сили обмоток змінного струму | 6 | 2 | | 4 | | | | | | | | |
| Тема 20. Асинхронна машина за нерухомого ротора | 4 | 2 | | 2 | | | | | | | | |
| Тема 21. Асинхронна машина за обертового ротора | 6 | 2 | | 4 | | | | | | | | |
| Тема 22. Енергетична діаграма та ККД асинхронного двигуна | 4 | 2 | | 2 | | | | | | | | |
| Тема 23. Обертальні моменти та механічні характеристики АМ | 6 | 2 | | 4 | | | | | | | | |
| Тема 24. Способи пуску та регулювання частоти обертання трифазних асинхронних двигунів | 4 | 2 | | 2 | | | | | | | | |
| Тема 25. Однофазні та спеціальні асинхронні двигуни | 6 | 2 | | 4 | | | | | | | | |
| Разом за змістовим модулем 2 | 48 | 20 | | 28 | | | 6 | | | | | |
| Змістовий модуль 4. Синхронні електричні машини | | | | | | | | | | | | |
| Тема 26. Реакція якоря синхронного генератора | 6 | 2 | | 4 | | 8 | 4 | 2 | | 2 | | |
| Тема 27. Характеристики синхронного генератора | 6 | 2 | | 4 | | 9 | | | | | | |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
|---------------------------------------------------------------------------------|-----|----|---|----|---|---|----|---|----|----|----|----|
| Тема 28. Паралельна робота синхронного генератора з електричною мережею | 6 | 2 | | 4 | | | | | | | | |
| Тема 29. Перехідні процеси в синхронному генераторі | 6 | 2 | | 4 | | | | | | | | |
| Тема 30. Синхронні двигуни та компенсатори | 6 | 2 | | 4 | | | | | | | | |
| Разом за змістовим модулем 2 | 30 | 10 | | 20 | | | 4 | | | | | |
| Усього годин | 150 | 60 | | 90 | | | 10 | 4 | | 6 | | |
| Курсовий проект (робота) з _____ _____ (якщо є в робочому навчальному плані) | | | - | - | - | | | - | - | - | | - |
| Усього годин | 150 | 60 | | 90 | | | 10 | 4 | | 6 | | |

5. Теми лабораторних занять

| № з/п | Назва теми | Кількість годин |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| 1. | Методика експериментальних досліджень електричних машин. Інструктаж з техніки безпеки | 2 |
| 2. | Дослідження генератора постійного струму незалежного збудження | 4 |
| 3. | Дослідження генератора постійного струму паралельного збудження | 4 |
| 4. | Дослідження генератора постійного струму змішаного збудження | 4 |
| 5. | Дослідження двигуна постійного струму паралельного збудження | 4 |
| 6. | Дослідження універсального колекторного двигуна | 4 |
| 7. | Дослідження трифазного стержньового двообмоткового трансформатора | 4 |
| 8. | Експериментальне визначення груп з'єднання обмоток трифазного трансформатора | 4 |
| 9. | Дослідження паралельної роботи двох трифазних трансформаторів | 4 |
| 10. | Дослідження трифазного трансформатора за несиметричного навантаження | 4 |
| 11. | Дослідження трифазного групового трансформатора | 4 |
| 12. | Дослідження обертового магнітного поля асинхронної машини. Визначення втрат та коефіцієнта корисної дії | 4 |
| 13. | Дослідження трифазного асинхронного двигуна з фазним ротором | 4 |

| | | |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|
| 14. | Визначення робочих характеристик асинхронного двигуна по круговій діаграмі та їх порівняння із експериментальними | 4 |
| 15. | Дослідження трифазного асинхронного двигуна з коротко замкненим ротором у режимі трифазного живлення | 4 |
| 16. | Дослідження трифазного асинхронного двигуна з коротко замкненим ротором у режимі однофазного живлення | 4 |
| 17. | Дослідження компенсованого асинхронного двигуна | 4 |
| 18. | Дослідження трифазного асинхронного генератора | 4 |
| 19. | Дослідження трифазного синхронного генератора | 4 |
| 20. | Визначення параметрів трифазного синхронного генератора | 4 |
| 21. | Дослідження паралельної роботи синхронного генератора з електричною мережею | 4 |
| 22. | Дослідження трифазного синхронного двигуна | 4 |
| 23. | Дослідження трифазного синхронного компенсатора | 4 |

6. Контрольні питання, комплекти тестів для визначення рівня засвоєння знань студентами

Контрольні питання

1. Соціально-економічні та науково-технічні передумови виникнення і розвитку електричних машин.
2. Наведіть визначення і класифікацію електричних машин та мету їх вивчення.
3. Поясніть будову і принцип дії колекторної машини постійного струму.
4. Поясніть магнітну характеристику машини постійного струму.
5. Проаналізуйте реакцію якоря генератора постійного струму за нейтрального положення щіток на колекторі.
6. Проаналізуйте реакцію якоря двигуна постійного струму за нейтрального положення щіток на колекторі.
7. Наведіть і проаналізуйте системи збудження машин постійного струму.
8. Проаналізуйте характеристики генератора постійного струму незалежного збудження.
9. Проаналізуйте процес самозбудження генератора постійного струму.
10. Проаналізуйте характеристики генератора паралельного збудження.
11. Проаналізуйте характеристики генераторів послідовного та змішаного збудження.
12. Проаналізуйте енергетичну діаграму і ККД генератора постійного струму.
13. Проаналізуйте енергетичну діаграму і ККД двигуна постійного струму.

14. Проаналізуйте робочі та механічні характеристики двигуна постійного струму паралельного збудження.
15. Проаналізуйте робочі характеристики двигуна постійного струму послідовного збудження.
16. Проаналізуйте способи пуску двигунів постійного струму.
17. Проаналізуйте способи регулювання частоти обертання двигунів постійного струму.
18. Поясніть призначення та наведіть класифікацію трансформаторів.
19. Поясніть будову силового трансформатора. Паспортні дані.
20. Поясніть принцип дії трансформатора. Коефіцієнт трансформації.
21. Проаналізуйте рівняння рівноваги напруги та векторну діаграму трансформатора в режимі холостого ходу.
22. Проаналізуйте рівняння рівноваги напруги та векторну діаграму трансформатора в режимі навантаження.
23. Проаналізуйте рівняння МРС трансформатора.
24. Зведений трансформатор. Формули зведення.
25. Поясніть методику проведення досліду холостого ходу трансформатора та поясніть характеристики.
26. Поясніть методику проведення досліду короткого замикання трансформатора та поясніть характеристики.
27. Визначте параметри схеми заміщення трансформатора на основі даних дослідів х.х. та к.з.
28. Проаналізуйте енергетичну діаграму і ККД трансформатора.
29. Проаналізуйте схеми з'єднання обмоток трифазних трансформаторів.
30. Поясніть поняття групи з'єднання обмоток трансформаторів та методику її визначення.
31. Проаналізуйте паралельну роботу двох трансформаторів при $k_1 \neq k_2$.
32. Проаналізуйте паралельну роботу двох трансформаторів при $U_{k1} \neq U_{k2}$.
33. Проаналізуйте паралельну роботу двох трансформаторів за різних груп з'єднання обмоток.
34. Проаналізуйте режим несиметричного навантаження трифазного стержневого трансформатора за схеми з'єднання обмоток Y/Y .
35. Проаналізуйте режим несиметричного навантаження трифазного стержневого трансформатора за схеми з'єднання обмоток Y/Y_n .
36. Проаналізуйте режим несиметричного навантаження трифазного стержневого трансформатора за схеми з'єднання обмоток Δ/Y_n .
37. Поясніть будову і принцип дії асинхронних двигунів з короткозамкненим та фазним ротором.
38. Проаналізуйте властивості асинхронних двигунів з короткозамкненим та фазним ротором.
39. Поясніть будову і принцип дії синхронного генератора і синхронного двигуна.
40. Проаналізуйте МРС однофазної обмотки від першої гармоніки струму.
41. Проаналізуйте МРС однофазної обмотки від вищих гармонік струму.
42. Проаналізуйте МРС двофазної обмотки.

43. Проаналізуйте МРС трифазної обмотки від першої гармоніки струму.
44. Проаналізуйте МРС трифазної обмотки від вищих гармонік струму.
45. Проаналізуйте реакцію якоря трифазного синхронного генератора у разі R -навантаження.
46. Проаналізуйте реакцію якоря трифазного синхронного генератора у разі L -навантаження.
47. Проаналізуйте реакцію якоря трифазного синхронного генератора у разі C -навантаження.
48. Проаналізуйте реакцію якоря трифазного синхронного генератора у разі $R-L$ -навантаження.
49. Проаналізуйте МРС трифазної обмотки у разі однофазного живлення.
50. Проаналізуйте характеристики х.х., навантажувальну і к.з синхронного генератора.
51. Поясніть зовнішні і регулювальні характеристики синхронного генератора за різного характеру навантаження.
52. Поясніть способи та умови включення синхронного генератора на паралельну роботу з електричною мережею.
53. Поясніть принципи регулювання активної і реактивної потужності синхронного генератора в умовах паралельної роботи з мережею.
54. Проаналізуйте втрати потужності і ККД синхронного генератора.
55. Проаналізуйте рівняння електромагнітної потужності і моменту синхронного генератора.
56. Проаналізуйте регулювальні характеристики синхронного генератора.
57. Проаналізуйте кутові характеристики синхронного генератора.
58. Проаналізуйте характеристики х.х. асинхронного двигуна.
59. Проаналізуйте характеристики к.з. асинхронного двигуна.
60. Поясніть робочі характеристики асинхронного двигуна.
61. Проаналізуйте механічну характеристику асинхронного двигуна.
62. Проаналізуйте роботу трифазної асинхронної машини з фазним ротором в режимах перетворювача частоти та електромагнітного гальма.
63. Проаналізуйте роботу трифазної асинхронної машини в режимі генератора в умовах паралельного включення на мережу.
64. Проаналізуйте процес самозбудження асинхронного генератора.
65. Проаналізуйте робочі характеристики асинхронного генератора при автономній роботі.
66. Проаналізуйте способи пуску трифазних асинхронних двигунів.
67. Проаналізуйте способи регулювання частоти обертання асинхронних двигунів.
68. Проаналізуйте механічні характеристики трифазних асинхронних двигунів від вищих гармонік струму.
69. Проаналізуйте роботу трифазного асинхронного двигуна при $U_1 \neq U_n$.
70. Проаналізуйте роботу трифазного асинхронного двигуна при несиметрії напруги живлення.
71. Проаналізуйте роботу трифазного асинхронного двигуна у разі несиметрії кола ротора.

72. Проаналізуйте роботу трифазного асинхронного двигуна у разі однофазного живлення.
73. Проаналізуйте робочі характеристики трифазного асинхронного двигуна в однофазному режимі живлення за наявності робочої ємності та без неї.
74. Поясніть конструктивні відмінності та причини сильного іскріння щіток на колекторі машин змінного струму порівняно з колекторними машинами постійного струму.
75. Поясніть принцип утворення електромагнітного моменту в колекторних машинах постійного та змінного струму.

Тестові завдання

1. Принцип оберненості машини постійного струму полягає в тому, що:

1. будь-яка машина постійного струму може працювати як в режимі генератора, так і режимі двигуна;
2. у будь-якій машині постійного струму напрям ЕРС можна змінити, змінивши напрям обертання якоря;
3. у будь-якій машині постійного струму напрям струму можна змінити, змінивши полярність напруги живлення;
4. у будь-якій машині постійного струму напрям основного потоку можна змінити, змінивши полярність напруги живлення обмотки збудження.

2. Індуктор машини постійного струму призначений для створення:

1. магнітним або електромагнітним шляхом основного магнітного потоку;
2. електромагнітним шляхом магнітного поля машини;
3. потоку розсіювання;
4. основного магнітного потоку і повітряного проміжку.

3. Колектор машини постійного струму призначений для:

1. створення ковзаючого струмопідводу до обмотки якоря;
2. механічного випрямлення або інвертування змінного струму обмотки якоря;
3. під'єднання виводів обмотки якоря під час створення паралельних секцій;
4. створення електричного контакту між щітками і секціями обмотки якоря.

4. У електричній машині постійного струму літерами Ш1 та Ш2 позначаються виводи:

1. обмотки якоря;
2. паралельної обмотки збудження;
3. послідовної обмотки збудження;
4. всі обмотки.

5. У електричній машині постійного струму літерами Я1 та Я2 позначаються виводи:

1. обмотки якоря;
2. паралельної обмотки збудження;

3. послідовної обмотки збудження;
4. всі обмотки.

6. Принцип дії трансформаторів базується на явищі:

1. електромагнітної індукції;
2. гістерезису;
3. магнетизму;
4. електростатичної індукції.

7. У трансформаторі передача електричної енергії із первинної обмотки у вторинну відбувається:

1. магнітним потоком Φ ;
2. електромагнітною індукцією B ;
3. магніторушійною силою F ;
4. електрорушійною силою ЕРС.

8. В основі роботи трансформатора є:

1. закон електромагнітної індукції $e = -\frac{d\psi}{dt}$;
2. закон повного струму;
3. закон Джоуля-Ленца;
4. перший закон Кірхгофа.

9. Магнітопровід трансформатора призначений для:

1. підсилення магнітного зв'язку між обмотками і створення робочого магнітного потоку;
2. створення магнітного зв'язку між обмотками і забезпечення механічної жорсткості конструкції трансформатора;
3. підсилення магнітного зв'язку між обмотками і слугує конструктивною основою для встановлення і кріплення обмоток, виводів та інших деталей трансформатора;
4. створення магнітного зв'язку між обмотками і створення шляху проходження робочого магнітного потоку.

10. Під групою з'єднання обмоток трансформатора розуміють:

1. кут зсуву за фазою між лінійними векторами ЕРС обмоток вищої і нижчої напруги;
2. кут зсуву за фазою між лінійними векторами струмів обмоток вищої і нижчої напруги;
3. кут зсуву за фазою між лінійними векторами напруги та струму обмоток вищої і нижчої напруги;
4. кут зсуву за фазою між фазними векторами ЕРС двох фаз обмотки нижчої напруги;

11. Обмотковий коефіцієнт $K_{обм}$ обмотки машини змінного струму характеризує:

1. зменшення електрорушійної сили обмотки внаслідок її розподілення, скорочення кроку порівняно із зосередженою обмоткою;
2. збільшення електрорушійної сили обмотки внаслідок її розподілення, скорочення кроку і скося пазів порівняно із зосередженою обмоткою;
3. зменшення електрорушійної сили обмотки внаслідок скорочення кроку і скося пазів порівняно із зосередженою обмоткою;
4. збільшення електрорушійної сили обмотки внаслідок скорочення кроку і скося пазів порівняно із зосередженою обмоткою.

12. Головною особливістю асинхронних машин є те, що:

1. частота обертання ротора відрізняється від частоти обертання магнітного поля статора;
2. частота обертання ротора дорівнює частоті обертання магнітного поля статора;
3. частота обертання ротора перебільшує частоту обертання магнітного поля статора;
4. частота обертання ротора завжди менше частоти обертання магнітного поля статора.

13. Обертний момент асинхронної машини створюється:

1. за взаємодії магнітного потоку і активної складової струму ротора;
2. за взаємодії магнітного потоку і реактивної складової струму ротора;
3. за взаємодії магнітного потоку і повного струму ротора;
4. за взаємодії магнітного потоку і повного струму статора.

14. Ковзанням асинхронної машини називається:

1. відносна різниця швидкостей обертання магнітного поля статора і ротора;
2. відносна різниця швидкостей обертання магнітного поля статора і магнітного поля ротора;
3. абсолютна різниця швидкостей обертання магнітного поля статора і магнітного поля ротора;
4. абсолютна різниця швидкостей обертання магнітного поля статора і ротора.

15. Що необхідно виконати, щоб змінити напрямок обертання магнітного поля статора асинхронного двигуна?

1. знизити напругу;
2. поміняти будь-які дві фази місцями;
3. підвищити напругу;
4. загальмувати ротор.

16. Поперечна реакція якоря синхронного генератора діє:

1. за чисто індуктивного навантаження;
2. за чисто ємнісного навантаження;
3. за чисто активного навантаження;
4. за активно-індуктивного навантаження.

17. Способи пуску синхронних двигунів:

1. асинхронний за рахунок пускової обмотки;
2. синхронний;
3. частотний;
4. за допомогою допоміжного двигуна;

18. Синхронну машину, що працює на холостому ході в режимі перезбудження і підключена до мережі, яка завантажена активно-індуктивним навантаженням, називається:

1. індуктивний компенсатор;
2. ємнісний компенсатор;
3. синхронний компенсатор;
4. компенсатор з поперечним полем.

19. Частота обертання, яку має синхронна машина за $P = 2$, $f = 50$ Гц:

1. 3000 хв^{-1} ;
2. 1500 хв^{-1} ;
3. 1000 хв^{-1} ;
4. 750 хв^{-1} ;

20. Потужність синхронних генераторів регулюють:

1. зміною числа витків обмотки статора (якоря);
2. зміною величини моменту первинного двигуна;
3. зміною величини струму збудження;
4. зміною кутової швидкості вала первинного двигуна.

Зразок екзаменаційного білету

| НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ ТА ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| ОС: бакалавр Спеціальність: 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка (скорочений термін) | Кафедра електротехніки, електромеханіки та електротехнологій 20__ - 20__ навчальний рік | ЕЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ №1 з дисципліни Електричні машини | Затверджую Зав. кафедри _____ (підпис) _____ «__» _____ 20__ р. |

Екзаменаційні питання

1. Проаналізуйте ЕРС, що індукується у фазній обмотці машини змінного струму.
2. Поясніть будову і принцип дії асинхронних двигунів з короткозамкненим та фазним ротором.

Тестові питання

| | |
|----------|---------------------------------------------------------------------------|
| | Питання 1. Працюючи у режимі двигуна електрична машина перетворює: |
| 1 | електричну енергію змінного струму в електричну енергію постійного струму |
| 2 | механічну енергію в електричну |
| 3 | електричну енергію в механічну |
| 4 | електричну енергію в теплову |

| | |
|----------|----------------------------------------------------------|
| | Питання 2. Якорем електричної машини називається: |
| 1 | обертова частина машини |
| 2 | сукупність основних полюсів із обмотками збудження |
| 3 | нерухома частина машини |
| 4 | частина машини, у обмотках якої індукується робоча ЕРС |

| | |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------|
| | Питання 3. Колектор у генераторі постійного струму призначений для: |
| 1 | перетворення змінного струму обмотки якоря у постійний струм зовнішнього кола |
| 2 | покращання комутації |
| 3 | боротьби із шкідливою дією реакції якоря |
| 4 | створення основного магнітного поля машини |

| | |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | Питання 4. Для переходу машини постійного струму з режиму генератора у режим двигуна і навпаки за незмінної полярності полюсів і щіток та незмінного напрямку обертання: |
| 1 | необхідно збільшити частоту обертання якоря |
| 2 | необхідно збільшити момент на валу машини |
| 3 | необхідно змінити полярність струму якоря |
| 4 | необхідно зменшити момент на валу машини |

| | |
|----------|-------------------------------------------------------------------|
| | Питання 5. Поперечна реакція якоря: |
| 1 | збільшуючи магнітний потік, підмагнічує машину |
| 2 | спотворюючи та дещо зменшуючи магнітний потік, розмагнічує машину |
| 3 | лише спотворює криву магнітного поля у повітряному зазорі |
| 4 | не впливає на роботу машини |

| | |
|---|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| | Питання 6. За яких умов у машині постійного струму протікатиме прямолінійна комутація? |
| 1 | коли ЕРС самоіндукції комутованої секції дорівнює нулю |
| 2 | коли ЕРС взаємоіндукції комутованої секції дорівнює нулю |
| 3 | коли реактивна ЕРС комутованої секції дорівнює нулю |
| 4 | коли сумарна ЕРС комутованої секції дорівнює нулю |
| 5 | коли обертова ЕРС комутованої секції дорівнює нулю |

| | |
|---|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | Питання 7. Вкажіть неправильну формулу для генератора постійного струму паралельного збудження: |
| 1 | $U = E + I_a R_a$ |
| 2 | $E = c_p \Phi n$ |
| 3 | $I_p = \frac{E - U}{R_p}$ |
| 4 | $U = E - I_a R_a$ |
| 5 | $I_a = I + I_p$ |

| | |
|---|-------------------------------------------------------------------------------------|
| | Питання 8. Основним способом покращання комутації машин постійного струму є: |
| 1 | застосування додаткових полюсів |
| 2 | збільшення повітряного зазору |
| 3 | зсув щіток з геометричної нейтралі |
| 4 | застосування компенсаційної обмотки |

| | |
|---|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| | Питання 9. ЕРС секції обмотки якоря машини постійного струму буде максимальною, коли: |
| 1 | $y_1 < \tau$ |
| 2 | $y_1 > \tau$ |
| 3 | $y_1 = \tau$ |
| 4 | $y_1 = \frac{5}{6} \tau$ |

| | |
|---|----------------------------------------------------------------------------|
| | Питання 10. Проста хвильова обмотка якоря машини постійного струму: |
| 1 | потребує застосування врівноважувачів I-го роду |
| 2 | потребує застосування врівноважувачів як I-го так і II-го роду |
| 3 | не потребує застосування врівноважувачів |
| 4 | потребує застосування врівноважувачів II-го роду |

7. Методи навчання

За джерелами знань використовуються такі методи навчання: словесні – розповідь, пояснення, лекція, інструктаж; наочні – демонстрація, ілюстрація; практичні – лабораторна робота, практична робота, вправи.

За характером логіки використовуються такі методи: аналітичний, синтетичний, аналітико-синтетичний. Індуктивний, дедуктивний.

За рівнем самостійної розумової діяльності використовуються методи: проблемний, частково-пошуковий, дослідницький.

8. Форми контролю

Оцінювання якості знань студентів, в умовах організації навчального процесу за кредитно-модульною системою здійснюється шляхом поточного, модульного, підсумкового (семестрового) контролю за 100-бальною шкалою оцінювання, за шкалою ECTS та національною шкалою оцінювання.

9. Критерії оцінювання

Таблиця розподілу оціночних балів за виконання різних видів навчальної діяльності з кожного модуля та «вага» кожного модуля у загальній рейтинговій оцінці

| Поточний контроль | | | | Рейтинг з навчальної роботи R _{НР} | Рейтинг з додаткової роботи R _{ДР} | Рейтинг штрафний R _{ШТР} | Підсумкова атестація (екзамен чи залік) | Загальна кількість балів |
|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------------------------------------|------------------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------|
| Зміст. модуль 1 | Зміст. модуль 2 | Зміст. модуль 3 | Зміст. модуль 4 | | | | | |
| 0-100 | 0-100 | 0-100 | 0-100 | 0-70 | 0-20 | 0-5 | 0-30 | 0-100 |

Шкала оцінювання: національна та ECTS

| Сума балів за всі види навчальної діяльності | Оцінка ECTS | Оцінка за національною шкалою | |
|----------------------------------------------|-------------|------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| | | для екзамену, курсового проекту (роботи), практики | для заліку |
| 90 – 100 | A | відмінно | зараховано |
| 82-89 | B | добре | |
| 74-81 | C | | |
| 64-73 | D | задовільно | |
| 60-63 | E | | |
| 35-59 | FX | незадовільно з можливістю повторного складання | не зараховано з можливістю повторного складання |
| 0-34 | F | незадовільно з обов'язковим повторним вивченням дисципліни | не зараховано з обов'язковим повторним вивченням дисципліни |

10. Методичне забезпечення

1. Підручники та посібники, зазначені у списку літератури.
2. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт.
3. Нормативні документи.
4. Таблиці, схеми і плакати з електричних машин, виготовлені на кафедрі, а також типографічним способом.
5. Стенди із зразками електричних машин.

6. Лабораторні установки з електричних машин.
7. Інтернет-ресурси.

11. Рекомендована література

– основна:

1. Заблодський М.М. Асинхронні електричні машини / М.М. Заблодський, Р.М. Чуєнко, В.В. Васюк – К.: Видавництво Компрінт, 2020. – 343 с.
2. Заблодський М.М. Електричні машини (Ч.2 Трансформатори) / М.М. Заблодський, Р.М. Чуєнко, В.В. Васюк – К.: Видавництво Компрінт, 2019. – 343 с.
3. Заблодський М.М. Електричні машини змінного струму: навчальний посібник / М.М. Заблодський, Р.М. Чуєнко, В.В. Васюк – К.: ЦП «Компрінт», 2018. – 514 с.
4. Мішин В.І. Асинхронні електричні машини / В.І. Мішин, Р.М. Чуєнко, С.С. Макаревич, М.Т. Лут – К.: Видавництво Компрінт, 2022. – 573 с.
5. Чуєнко Р.М. Електричні машини: навчальний посібник / Р.М. Чуєнко. – К.: ЦП «Компрінт», 2015. – 436 с.
6. Яцун М.А. Електричні машини: підручник / М.А. Яцун. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2011. – 464 с.
7. Загірняк М.В. Електричні машини: підручник / М.В. Загірняк, Б.І. Невзлін. – К.: Знання, 2009. – 399 с.
8. Кацман М.М. Электрические машины: учебник / М.М. Кацман. - 12-е изд., стер. - М.: Изд. центр "Академия", 2013. - 496 с.
9. Вольдек А.И. Электрические машины: учебник / А.И. Вольдек. – Л.: Энергия, 1978. – 832 с.
10. Копылов И.П. Электрические машины / И.П. Копылов. – М.: Высшая школа, 2006. – 607 с.

- допоміжна:

1. Чуєнко Р.М. Електричні машини: навчальний посібник / Р.М. Чуєнко. К.: Видавництво "Компрінт", 2017. - 462 с.
2. Чуєнко М.О. Практикум з електричних машин: навчальний посібник / М.О. Чуєнко, Р.М. Чуєнко, О.В. Санченко. – Ніжин: Видавець ПП Лисенко М.М., 2014. – 320 с.
3. Чуєнко Р.М. Електричні машини: лабораторний практикум з електричних машин / Р.М. Чуєнко, В.В. Гаврилюк. – К.: Видавничий центр НУБіП України, 2014. – 255 с.
4. Грабко В. В. Експериментальні дослідження електричних машин. Частина І. Машини постійного струму : навчальний посібник / Грабко В. В., Розводюк М. П., Грабенко І. В. – Вінниця : ВНТУ, 2005. – 86 с.
5. Грабко В. В. Експериментальні дослідження електричних машин. Частина ІV. [Трансформатори](#) : навчальний посібник / Грабко В. В., Розводюк М. П., Левицький С. М. – Вінниця : ВНТУ, 2008. – 219 с.

6. Смуригін В.М. Методичні вказівки до лабораторно-практичних робіт з дисципліни «Електричні машини». Частина 1: трансформатори і машини постійного струму/[Смуригін В.М., Галько С.В., Бородин Є.В., Ковальов О.В.]. – Мелітополь: ТДАТУ, 2009. – 149 с.
7. Чуєнко М.О. Електричні машини: лабораторний практикум з електричних машин змінного струму / М.О. Чуєнко, Р.М. Чуєнко. – Ніжин: Видавець ПП Лисенко М.М., 2010. – 127 с.
8. Чуєнко М.О. Енергетичні засоби в АПК (Електричні машини). Лабораторний практикум / М.О. Чуєнко, Р.М. Чуєнко, А.Г. Кушніренко. – Ніжин: Видавець ПП Лисенко М.М., 2009. – 275 с.
9. Експериментальні дослідження електричних машин. Частина I. Машини постійного струму : електронний навчальний посібник [Електронний ресурс] / В. В. Грабко, М. П. Розводюк, І. В. Грабенко.
10. Герман-Галкин С.Г. Электрические машины: лабораторные работы на ПК: учебное пособие для студ. вузов / С.Г. Герман-Галкин. – Санкт-Петербург: КОРОНА принт, 2003. – 256 с.

Директивні і нормативні матеріали:

1. ДСТУ 2286-93 (IEC 60050-411:1973, NEQ) Машини електричні обертові. Терміни та визначення
2. ДСТУ 2818-94 (ГОСТ 30149-95, IDT) Машини електричні обертові. Позначення літерні і одиниці вимірювань
3. ДСТУ 3398-96 (ГОСТ 30458-97, IDT) Машини електричні обертові. Ізоляція. Норми та методи випробувань
4. ДСТУ 3595-97 (IEC 60335-1:1991, NEQ) Електроприводи змінного струму загального призначення. Загальні технічні вимоги
5. ДСТУ 3638-97 Електроприводи асинхронні побутові. Загальні технічні умови
6. ДСТУ 3788-98 Обертові електричні машини. Елементи конструкційні, магнітні та електричні. Терміни та визначення
7. ДСТУ 3804-98 Обертові електричні машини. Система охолодження, види захисту від зовнішнього середовища, випробування та експлуатація. Терміни та визначення
8. ДСТУ 3827-98 Обертові електричні машини. Характеристики машин. Терміни та визначення
9. ДСТУ 3886-99 Енергозбереження. Системи електроприводу. Метод аналізу та вибору
10. ДСТУ IEC 61800-2:2008 (IEC 61800-2:1998, IDT) Системи силового електроприводу з регульованою швидкістю.