



Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	Перший (бакалаврський)
Галузь знань	G «Інженерія, виробництво та будівництво»
Спеціальність	G3 «Електрична інженерія»
Освітня програма	Електричні машини і апарати (<i>Electrical machines and apparatus</i>)
Статус дисципліни	Вибіркова
Форма навчання	Очна(денна)/заочна/дистанційна/змішана
Рік підготовки, семестр	4 курс, весняний семестр
Обсяг дисципліни	120 годин / 4 кредити ECTS
Семестровий контроль/ контрольні заходи	Залік
Розклад занять	http://rozklad.kpi.ua/Schedules/ViewSchedule.aspx?v=9f535d05-ccd4-4f3a-983e-966c052418db
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: доктор філософії Ткачук Ігор Валерійович, 0979885124 Лабораторні роботи: доктор філософії Ткачук Ігор Валерійович, 0979885124
Розміщення курсу	

Програма навчальної дисципліни

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

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

Метою навчальної дисципліни є формування у студентів знань про фізичні основи, властивості, технології виготовлення та застосування високоенергетичних постійних магнітів у сучасних електромеханічних системах.

Предмет навчальної дисципліни – є Високоенергетичні постійні магніти, які широко використовуються в різних галузях промисловості, таких як верстатобудування, аерокосмічна техніка, автономна енергетика, а також в літальних апаратах. Програмні результати навчання:

Компетенції: (ЗК1-10) Здатність застосовувати знання на практиці; Здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово; Здатність спілкуватися іноземною мовою; Здатність до використання інформаційних і комунікаційних технологій; Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел; Здатність виявляти, ставити та вирішувати проблеми; Здатність приймати обґрунтовані рішення; Готовність та здатність високоякісно виконувати роботу як самостійно так і колективно та приймати рішення в межах своїх професійних знань та компетенцій; Здатність спілкуватися з представниками інших професійних груп різного рівня; Здатність діяти соціально відповідально та свідомо. (ФК 2, 4-6, 10-13, 17) Здатність вирішувати практичні задачі із залученням апарату вищої математики, загальної фізики та теоретичної електротехніки; Здатність

вирішувати практичні задачі, пов'язані з проблемами метрології, електричних вимірювань, роботою пристроїв автоматичного керування, релейного захисту та автоматики; Здатність вирішувати практичні задачі, пов'язані з роботою електричних машин, апаратів та автоматизованого електроприводу; Здатність вирішувати практичні задачі, пов'язані з проблемами виробництва, передачі та розподілення електричної енергії; Усвідомлення необхідності підвищення енергоефективності електроенергетичного, електротехнічного та електромеханічного устаткування; Усвідомлення необхідності постійно розширювати власні знання про нові технології в електроенергетиці, електротехніці та електромеханіці; Готовність до надзвичайних (аварійних) ситуацій в електроенергетичних та електромеханічних системах; Здатність ідентифікувати, одержувати й розміщати необхідні дані, планувати й проводити аналітичні і експериментальні дослідження та моделювання електричних машин і апаратів, критично оцінювати дані й робити висновки; Здатність ефективно використовувати нові технології в процесі модернізації та реконструкції електричного обладнання, електричних машин та апаратів, електричного транспорту, електричних пристроїв, систем та комплексів.

Знання: основні типи постійних магнітів, характеристики: коерцитивна сила, залишкова індукція, енергетичний добуток, вплив температури та розмагнічування. Уміння: розраховувати магнітні кола, підбирати тип магніту для задачі, оцінювати втрати та ефективність.

Досвід: студент повинен отримати навички роботи з високоенергетичними постійними магнітами, методами їх експериментального дослідження, ознайомитися з технологічними засобами виробництва, а також з досягненнями та проблемами в галузі сучасного електромашинобудування.

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», «Електричні машини». При вивченні високоенергетичних постійних магнітів потрібні також знання з інженерної графіки, електротехнічних матеріалів, прикладної механіки, основам метрології та електричним вимірюванням. Значну увагу приділено аналізу сфери застосування високоенергетичних постійних магнітів та їх впливу на розвиток різноманітних галузей промисловості; передує вивченню дисциплін «Автоматизований електропривід», «Проектування електромеханічних систем».

3. Зміст навчальної дисципліни

Дисципліну структурно розподілено на 10 лекцій, а саме:

Лекція 1: Вступ до магнетизму та магнітних матеріалів

Лекція 2: Феромагнетизм і доменна структура

Лекція 3: Гістерезис та втрати в магнітних матеріалах

Лекція 4: Типи постійних магнітів

Лекція 5: Високоенергетичні магніти

Лекція 6: Температурні ефекти і деградація

Лекція 7: Магнітні кола і робоча точка

Лекція 8: Розрахунок магнітних систем

Лекція 9: Застосування в електричних машинах

Лекція 10: Сучасні технології та перспективи

3. Навчальні матеріали та ресурси

Основні інформаційні ресурси:

1. Кравченко В.О. «Електричні машини з постійними магнітами». – Київ: НТУУ «КПІ», 2020.
2. Соколов І.В. «Магнітні матеріали в електротехніці». – Львів: ЛП, 2019. Boldea I., Nasar S. A. "Electric Drives". – CRC Press, 2010.
3. Coey J.M.D. *Magnetism and Magnetic Materials*. – Cambridge University Press, 2019. Pyrhönen J., Jokinen T., Hrabovcová V. "Design of Rotating Electrical Machines". – Wiley, 2014.
4. Gutfleisch O., Willard M.A., Brück E. *Magnetic Materials and Devices for the 21st Century*. – Advanced Materials, 2020. Leonhard W. "Control of Electrical Drives". – Springer, 2001.

Навчальний контент

4. Методика опанування навчальної дисципліни(освітнього компонента)

Лекційні заняття

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на інформаційні джерела)
1	Вступ до магнетизму та магнітних матеріалів План: <ul style="list-style-type: none">• Основні поняття магнетизму• Магнітне поле та його характеристики• Класифікація матеріалів (діа-, пара-, феромагнетики)• Області застосування магнітів літературні джерела [1], с.8-29.
2	Феромагнетизм і доменна структура План: <ul style="list-style-type: none">• Природа феромагнетизму• Магнітні домени• Процеси намагнічування• Вплив зовнішнього поля літературні джерела [1], с.38-54;
3	Гістерезис та втрати в магнітних матеріалах План: <ul style="list-style-type: none">• Петля гістерезису• Основні параметри (B_r, H_c)• Втрати на гістерезис і вихрові струми• Методи зменшення втрат літературні джерела [2],с.57-89.
4	Типи постійних магнітів План: <ul style="list-style-type: none">• Феритові магніти• AlNiCo• Рідкоземельні магніти (NdFeB, SmCo)• Порівняльний аналіз літературні джерела [2], с.77-101.

5	<p>Високоенергетичні магніти</p> <p>План:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Енергетичний добуток (BH)max • Основні характеристики NdFeB і SmCo • Переваги та недоліки • Області застосування <p>літературні джерела [4],с.11-26</p>
6	<p>Температурні ефекти і деградація</p> <p>План:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Температурні коефіцієнти • Точка Кюрі • Розмагнічування • Старіння матеріалів
	<p>літературні джерела [5], с.56-74</p>
7	<p>Магнітні кола і робоча точка</p> <p>План:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Основи магнітних кіл • Закон Ампера • Робоча точка магніту • Лінія навантаження <p>літературні джерела [5], с.26-44</p>
8	<p>Розрахунок магнітних систем</p> <p>План:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Аналітичні методи • Чисельні методи (FEM) • Вибір геометрії • Оптимізація <p>літературні джерела [1], с.4-20.</p>
9	<p>Застосування в електричних машинах</p> <p>План:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Синхронні двигуни з ПМ • BLDC двигуни • Генератори • Електромобілі <p>літературні джерела [4], с.30-53</p>
10	<p>Сучасні технології та перспективи</p> <p>План:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Адитивне виробництво магнітів • Наноматеріали • Переробка рідкоземельних елементів • Тренди розвитку <p>літературні джерела [4] с.127-132</p>

Лабораторні заняття

№ з/п	Назва теми заняття та перелік основних питань
1	Дослідження петлі гістерезису феромагнітного матеріалу Мета роботи: вивчити процес намагнічування феромагнетика та визначити основні параметри петлі гістерезису.
2	Побудова кривої намагнічування Мета роботи: отримати основну криву намагнічування та визначити магнітну проникність.
3	Дослідження температурних властивостей магнітів Мета роботи: визначити вплив температури на магнітні характеристики.
4	Розрахунок та аналіз магнітного кола з постійним магнітом Мета роботи: освоїти методику розрахунку магнітних кіл.

5. Самостійна робота студента

№з/п	Вид самостійної роботи	Кількість годин СРС
1	Підготовка до аудиторних занять	12
2	Розв'язок завдань	8
3	Підготовка до заліку	10

Політика та контроль

6. 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 та практичних заняттях.
- 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 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, участь у факультетських та інститутських наукових конференціях. Штрафні бали нараховують за несвоєчасне виконання практичних завдань.
- політика дедлайнів та перескладань: несвоєчасне виконання лабораторних робіт передбачають нарахування штрафних балів. Якщо студент не проходив або не з'явився на МКР, його результат оцінюється у 0 балів. Перескладання захисту результатів МКР не передбачено;

- 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 «Монтаж та експлуатація електричних машин – 1»;
- 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.

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

Поточний контроль: експрес-опитування, здача лабораторних робіт

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

Семестровий контроль: залік

Умови допуску до семестрового контролю: мінімально позитивна оцінка за роботу на лабораторних та лекційних заняттях, модульний контроль, семестровий рейтинг більше 40 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

Загальна рейтингова оцінка студента після завершення семестру складається з балів, отриманих за:

- відповіді під час проведення експрес-опитувань на лекціях;
- розв'язання задач на практичних заняттях;
- виконання двох контрольних робіт у рамках модульної контрольної роботи (МКР).

Експрес-опитування	Здача лабораторних робіт	Rc	Rзал	R
16	54	70	30	100

Відповіді під час проведення експрес-опитувань на лекціях Ваговий бал – 3. Максимальна кількість балів на всіх лекціях – 2 бали * 8 = 16 балів. Критерії оцінювання

- правильні відповіді на окремі питання з місця – 2;
Здача лабораторних робіт

Ваговий бал — 6. Максимальна кількість балів на всіх лабораторних заняттях дорівнює: 3 бали*4 = 24 балів.

Критерії оцінювання:

- 2 бали — допуск до виконання лабораторної роботи,
- 2 бали — правильність виконання розрахунків та оформлення протоколу,
- 2 бали — захист лабораторної роботи.

Модульна контрольна робота

Ваговий бал — 15. Максимальна кількість балів за всі контрольні роботи дорівнює: $15 \text{ балів} * 2 = 30$ балів. Критерії оцінювання:

- 15 балів - повна обґрунтована відповідь,
- 8 ... 10 балів - недостатньо обґрунтована відповідь,
- 6...7 балів - наявність 1- 2 помилок,
- 3 бали - необґрунтована відповідь з помилками.

Календарний контроль базується на поточній рейтинговій оцінці. Умовою позитивної атестації є значення поточного рейтингу студента не менше 50% від максимально можливого на час атестації.

Форма семестрового контролю – залік

Залікова робота складається із теоретичних запитань, виконаних в формі тестувань.

Критерії оцінювання заліку

Рейтинг $R_c \geq 0,6 * R$, тобто 70 балів – зараховується автоматично.

Рейтинг R_c в межах $(0,4 - 0,59) * R$, тобто 28 – 41 балів – студенти складають залік.

Максимальний рейтинг заліку $R_z = 30$ балів.

Рейтинг заліку $R_z = 23 - 30$ балів – студент дав вичерпні відповіді на всі питання (при необхідності – і на додаткові), дає чіткі визначення всіх понять і величин, відповіді логічні і послідовні.

Рейтинг заліку $R_z = 15 - 22$ бали – відповідаючи на питання, студент припускається окремих помилок, але може їх виправити за допомогою викладача; знає визначення основних понять і величин дисципліни, в цілому розуміє фізичну суть електромагнітних процесів в об'єктах, які вивчав.

Рейтинг заліку $R_z = 6 - 14$ балів – студент частково відповідає на екзаменаційні питання, показує знання, але недостатньо розуміє фізичну суть електромагнітних процесів перетворення енергії. Відповіді непослідовні і нечіткі.

Рейтинг заліку $R_z \leq 6$ балів – у відповіді студент припускається суттєвих помилок, проявляє нерозуміння фізичної суті електромагнітних процесів, не може виправити помилки за допомогою викладача. Відповіді некоректні, а в деяких випадках не відповідають суті поставленого питання.

9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента) Перелік

тем, які виносяться на семестровий контроль

Основи роботи електричних двигунів:

1. Основи магнетизму
2. Класифікація магнітних матеріалів
3. Феромагнетизм і доменна структура
4. Процеси намагнічування
5. Петля гістерезису
6. Основні магнітні характеристики (B_r , H_c , $(BH)_{max}$)
7. Втрати в магнітних матеріалах
8. Типи постійних магнітів (ферити, AlNiCo, NdFeB, SmCo)
9. Високоенергетичні постійні магніти
10. Температурні властивості магнітів
11. Точка Кюрі
12. Розмагнічування та його види
13. Магнітні кола
14. Робоча точка магніту
15. Розрахунок магнітних систем
16. Застосування магнітів в електричних машинах

17. BLDC та PMSM двигуни
18. Сучасні технології виготовлення магнітів
19. Перспективи розвитку магнітних матеріалів

Технологічні інновації:

Використання програмного забезпечення для моделювання двигунів.

Вплив цифровізації на розвиток систем керування.

Сертифікати проходження дистанційних чи онлайн курсів за відповідною тематикою можуть бути зараховані за умови виконання вимог, наведених у НАКАЗІ № 7-177 від 01.10.2020 Про затвердження положення про визнання в КПІ ім. Ігоря Сікорського РЕЗУЛЬТАТІВ НАВЧАННЯ, НАБУТИХ У НЕФОРМАЛЬНІЙ/ІНФОРМАЛЬНІЙ ОСВІТІ

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено доктором філософії кафедри електромеханіки ФЕА, старшим викладачем Ткачуком І.В.

Ухвалено кафедрою електромеханіки ФЕА(протокол № від р.)

Погоджено Методичною комісією факультету¹ (протокол № від р.)

¹ Методичною радою університету– для загальноуніверситетських дисциплін.