



ВИСОКОШВИДКІСНІ ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	Другий (магістерський)
Галузь знань	G Інженерія, виробництво та будівництво
Спеціальність	G3 «Електрична інженерія»
Освітня програма	ВИСОКОШВИДКІСНІ ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ (HIGH-SPEED ELECTRIC MACHINES)
Статус дисципліни	Вибіркова
Форма навчання	Очна(денна)/заочна/дистанційна/змішана
Рік підготовки, семестр	1 курс, весняний семестр
Обсяг дисципліни	120 годин / 4 кредити ECTS
Семестровий контроль/ контрольні заходи	Залік/МКР
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	https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=4417

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 одержання теоретичних і практичних знань з тим, щоб у студента закласти основи для виробничо-технічної, проектно-конструкторської та дослідної діяльності.

Також закладення основ проектування, ремонту та технічного обслуговування високошвидкісних електричних машин.

Предмет навчальної дисципліни – є високошвидкісна електрична машина, яка 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: технічного обслуговування високошвидкісних електричних машин; виконання планово-попереджувальних робіт таких машин; догляду; ремонту, монтажу, несправностей електричних машин. Уміння: проектування високошвидкісних машин для конкретних умов їх роботи; створювати фізичні моделі електричних машин; створювати їх математичні моделі; виконувати розрахунки параметрів та основних режимів електричних машин; застосовувати найсучасніші заходи, пов'язані з ремонтом, обслуговуванням, випробуванням, монтажем електричних машин. Досвід: студент повинен отримати навички роботи з високошвидкісними електричними машинами, 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», «Теоретична механіка» та «Теоретичні основи електротехніки», «Електричні машини». Дисципліна “Високошвидкісні електричні машини”, використовуючи відомі закони електротехніки, подає теорію високошвидкісних електричних машин. При вивченні конструкції та режимів роботи високошвидкісних електричних машин потрібні також знання з інженерної графіки, електротехнічних матеріалів, прикладної механіки, електроніки, основам метрології та електричним вимірюванням. Значну увагу приділено аналізу сфери застосування високошвидкісних електричних машин та їх впливу на розвиток різноманітних галузей промисловості; передує вивченню дисциплін “Автоматизований електропривід”, “Монтаж та експлуатація електротехнічного обладнання”, “Споживачі електричної енергії”.

3. Зміст навчальної дисципліни

Дисципліну структурно розподілено на 3 розділи, а саме:

1. Основи високошвидкісних електродвигунів:

Лекція 1: Вступ до високошвидкісних електродвигунів

Лекція 2: Фізичні основи роботи електродвигунів

Лекція 3: Конструкція високошвидкісних електродвигунів

2. Блок 2: Технічні характеристики та обмеження:

Лекція 4: Принцип роботи високошвидкісних електродвигунів

Лекція 5: Динамічні характеристики високошвидкісних двигунів

Лекція 6: Виклики та обмеження високошвидкісних двигунів

3. Блок 3: Інновації та практичне застосування:

Лекція 7: Системи керування високошвидкісними двигунами

Лекція 8: Енергозбереження у високошвидкісних двигунах

Лекція 9: Технологічні інновації у високошвидкісних двигунах

Лекція 10: Практичне застосування високошвидкісних електродвигунів

4. Навчальні матеріали та ресурси

Основні інформаційні ресурси:

1. M. A Kovalenko; I. Ya Kovalenko; I. V Tkachuk; A. G Harford; D. V Tsyplenkov. Mathematical modeling of a magnetic gear for an autonomous wind turbine // *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2024, (2): 088 – 095. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2024-2/088>.
2. Kovalenko, M., Kovalenko, I., Tkachuk, I., Reutskyi, M., Harford, A., & Zhuk, S. (2024). Construction of the mathematical model of magnetic transmission for an autonomous wind power plant. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2(5 (128), 22–32. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.302008>.
3. Felix Niessen, Homebuilt Electric Motors—Winding Scheme Calculator. Available online: <http://www.bavaria-direct.co.za/> (accessed on 18 February 2021).
4. Shahri, P.K.; Izadi, V.; Ghasemi, A.H. Design a High Efficiency and Low Ripple BLDC Motor Based on Multi-Objective Optimization Methods. In *Proceedings of the 2020 American Control Conference (ACC)*, Denver, CO, USA, 1–3 July 2020; pp. 156–161.
5. Ullah, N.; Khan, F.; Ullah, W.; Umair, M.; Khattak, Z. Magnetic equivalent circuit models using global reluctance networks methodology for design of permanent magnet flux switching machine. In *Proceedings of the 2018 15th International Bhurban Conference on Applied Sciences and Technology (IBCAST)*, Islamabad, Pakistan, 9–13 January 2018; pp. 397–404.
6. *Springer Handbook of Power Systems* (Editor: Konstantin Papailiou). – Springer, 2018.
7. Huh, N.; Park, H.-S.; Lee, M.H.; Kim, J.-M. Hybrid PWM Control for Regulating the High-Speed Operation of BLDC Motors and Expanding the Current Sensing Range of DC-link Single-Shunt. *Energies* 2019, 12, 4347.
8. Huang, C.; Chen, G.; Yang, S.; Hsu, Y. Comparison of High Speed Permanent Magnet Machine Sensorless Drive using Trapezoidal BLDC and Sinusoidal FOC under Insufficient PWM Frequency. In *Proceedings of the 2019 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)*, Baltimore, MD, USA, 29 September–3 October 2019; pp. 321–325.
9. "High-Speed Motor Applications in Modern Industry", *IEEE Conference Proceedings*, 2020.
10. Навчальний посібник "Монтаж та випробування електричних машин" по дисципліні "Монтаж та випробування електричних машин" для студентів денної форми навчання. – Укл.: М. Г. Анпілогов, О. М. Давидов, М. О. Реуцький. - К.: НТУУ "КПІ", 2013. – с.106.
11. Дистанційний курс «Монтаж та експлуатація електричних машин – 1» <https://do.ipkpi.ua/course/view.php?id=4417>

5. 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 високошвидкісних електродвигунів: Що таке високошвидкісні електродвигуни. Історія їх розвитку (ключові етапи). Відмінності від звичайних електродвигунів. Галузі застосування (аерокосмічна техніка, промисловість, транспорт) літературні джерела [1], с.8-29.
2	Фізичні основи роботи електродвигунів: Закони електромагнетизму (закон Ампера, закон Фарадея). Робота магнітного поля в двигунах. Основні елементи: ротор, статор, обмотки. Взаємодія електричних і магнітних полів. літературні джерела [1], с.38-54;
3	Конструкція високошвидкісних електродвигунів: Основні типи конструкцій (асинхронні, синхронні, безщіткові). Матеріали для виготовлення. Особливості конструкцій для роботи на високих швидкостях. Компактність та охолодження. літературні джерела [2],с.57-89.
4	Принцип роботи високошвидкісних електродвигунів: Генерація магнітного поля. Перетворення електричної енергії в механічну. Особливості роботи при високих обертах. Зменшення втрат енергії. літературні джерела [2], с.77-101.
5	Динамічні характеристики високошвидкісних двигунів: Крутний момент, потужність, швидкість обертання. Аналіз графіків роботи. Методи вимірювання характеристик. Тестування двигунів. літературні джерела [4],с.11-26
6	Виклики та обмеження високошвидкісних двигунів: Нагрівання та охолодження. Вібрація та шум. Обмеження матеріалів. Надійність та довговічність.
	літературні джерела [5], с.56-74

7	Системи керування високошвидкісними двигунами: Інвертори та контролери. Регулювання швидкості та моменту. Використання сенсорів. Сучасні алгоритми керування. літературні джерела [7], с.10-48.
8	Енергозбереження у високошвидкісних двигунах: Методи зниження енергоспоживання. Використання енергоефективних компонентів. Розрахунок ККД. Екологічні аспекти. літературні джерела [11], с.4-20.
9	Технологічні інновації у високошвидкісних двигунах: Нові матеріали. Інновації у конструкції ротора. Технології 3D-друку для двигунів. Майбутні перспективи галузі. літературні джерела [9], с.30-53
10	Практичне застосування високошвидкісних електродвигунів: Використання у промисловості, транспорті, енергетиці. Приклади реальних проєктів. Аналіз економічної ефективності. літературні джерела [9] с.127-132

Лабораторні заняття

№ з/п	Назва теми заняття та перелік основних питань
1	Дослідження характеристик високошвидкісного універсального колекторного електродвигуна Мета: Визначити основні параметри електродвигуна, такі як крутний момент, потужність, ККД, та проаналізувати їх залежність від швидкості обертання. Опис роботи: Підключення асинхронного або синхронного двигуна до стенда. Проведення вимірювань: вхідний струм, напруга, крутний момент, швидкість обертання. Побудова графіків залежності крутного моменту та ККД від швидкості.
2	Аналіз магнітного поля ротора та статора високошвидкісних двигунів Мета: Вивчити принцип роботи магнітного поля в електродвигуні та його вплив на ефективність. Опис роботи: Моделювання магнітного поля в спеціалізованому програмному забезпеченні. Візуалізація роботи поля в роторі та статорі при різних режимах. Аналіз впливу матеріалів ротора та статора на характеристики двигуна.
3	Дослідження системи керування високошвидкісним двигуном Мета: Вивчити принцип роботи інвертора та системи керування швидкістю обертання двигуна. Опис роботи: Ознайомлення з елементами системи керування: контролер, інвертор, датчики швидкості. Підключення системи керування до двигуна. Проведення експериментів: зміна швидкості обертання, аналіз роботи системи керування при зміні навантаження.
4	Дослідження втрат та нагріву у високошвидкісних двигунах Мета: Дослідити методи підвищення енергоефективності двигуна. Опис роботи: Вимірювання енергоспоживання двигуна при різних режимах роботи. Застосування методів підвищення ККД (зміна параметрів керування, налаштування систем охолодження). Порівняння енергоспоживання до і після оптимізації.

6. Самостійна робота студента

№з/п	Вид самостійної роботи	Кількість годин СРС
1	Підготовка до аудиторних занять	24
2	Розв'язок завдань	32
3	Підготовка до МКР	10
4	Підготовка до заліку	10

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 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 гуглдиску 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.

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

Поточний контроль: експрес-опитування, МКР, 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	Задача лабораторних робіт	МКР	Rc	Rзал	R
16	24	30	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;

Задача 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 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 $R_c \geq 0,6 \cdot R$, тобто 70 балів – зараховується автоматично.

Рейтинг R_c в межах $(0,4 - 0,59) \cdot R$, 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. Закони електромагнетизму, що лежать в основі роботи електродвигунів.
2. Взаємодія магнітного поля та струму.
3. Класифікація електродвигунів.
4. Відмінності між асинхронними, синхронними та безщітковими двигунами.
5. Особливості конструкції високошвидкісних електродвигунів.
6. Принципи роботи високошвидкісних електродвигунів.
7. Процес перетворення електричної енергії в механічну.
8. Генерація магнітного поля в роторі та статорі.
9. Динамічні характеристики електродвигунів.
10. Крутий момент, потужність та швидкість обертання.
11. Аналіз графіків залежності характеристик двигуна від швидкості.
12. Системи керування електродвигунами.
13. Основні компоненти системи керування (інвертори, контролери, датчики).
14. Методи регулювання швидкості та моменту.
15. Проблеми та обмеження високошвидкісних двигунів.
16. Вплив вібрацій і шуму на роботу двигуна.
17. Особливості теплових процесів та систем охолодження.
18. Енергозбереження в електродвигунах.
19. Методи підвищення ККД.
20. Використання енергоефективних технологій.
21. Сучасні матеріали та інновації у високошвидкісних двигунах.
22. Нові матеріали для роторів і статорів.
23. Перспективи розвитку технологій.
24. Практичне застосування високошвидкісних електродвигунів.
25. Використання в промисловості, транспорті, медицині та інших галузях.

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, асистентом Ткачуком І.В.

Ухвалено кафедрою електромеханіки факультету електроенерготехніки та автоматики (протокол № 16 від 25.06.2025 р.)

Погоджено навчально-методичною комісією факультету електроенерготехніки та автоматики (протокол № 6 від 27.06.2025 р.)