



Національний технічний університет України
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»



Кафедра електромеханіки
ФЕА

АВТОМАТИЗОВАНЕ ПРОЕКТУВАННЯ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ЕНЕРГІЇ

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	«Електричні машини і апарати»
Статус дисципліни	Вибіркова (Ф-каталог кафедри електромеханіки)
Форма навчання	Очна (денна)
Рік підготовки, семестр	I курс, весняний семестр
Обсяг дисципліни	150 годин / 5 кредитів ECTS (лекції — 30 год, практичні заняття — 30 год, СРС — 90 год)
Семестровий контроль / контрольні заходи	Екзамен / МКР / РГР
Розклад занять	https://rozklad.kpi.ua
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: доктор філософії (PhD), асистент Стулішенко Андрій Сергійович, e-mail: [вказіть e-mail], тел.: [вказіть телефон] Практичні: доктор філософії (PhD), асистент Стулішенко Андрій Сергійович

Програма навчальної дисципліни

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

Програму навчальної дисципліни «Автоматизоване проектування електромеханічних перетворювачів енергії» складено відповідно до освітньо-професійної програми «Електричні машини і апарати» другого (магістерського) рівня вищої освіти за спеціальністю G3 «Електрична інженерія».

Метою навчальної дисципліни є формування у студентів системи компетентностей щодо застосування сучасних систем автоматизованого проектування (САПР) і методів оптимізації для розробки та вдосконалення електромеханічних перетворювачів енергії (ЕМПЕ): складання математичних моделей ЕМПЕ, визначення складу незалежних змінних, систем обмежень і цільових функцій, вибору методів пошуку оптимального конструктивного рішення та автоматизованої підготовки конструкторської документації.

Предметом навчальної дисципліни є сукупність методів, алгоритмів та програмних засобів автоматизованого проектування і оптимізації електромеханічних перетворювачів енергії різних типів.

Програмні результати навчання:

Компетенції: здатність ефективно вирішувати типові інженерні та науково-дослідні задачі в сфері розрахунку, дослідження, розробки та оптимального проектування електромеханічних перетворювачів енергії різного призначення і принципу дії з використанням сучасних САПР у рамках освітньої програми «Електричні машини і апарати».

Знання: структури і складу сучасних САПР (CAD/CAE/CAM/PDM/PLM); вимог до математичних моделей ЕМПЕ у структурі САПР; методів пошуку глобального та локального оптимуму; типових методик, алгоритмів та програмного забезпечення для автоматизованого проектування й оптимізації електричних машин.

Уміння: формалізувати задачу оптимального проектування ЕМПЕ; складати математичні моделі ЕМПЕ, обирати та застосовувати методи оптимізації; виконувати параметричну оптимізацію активної зони ЕМПЕ у сучасних CAE-середовищах (FEMM, Comsol Multiphysics); готувати конструкторську документацію на основі розрахункових даних із застосуванням програмних засобів САПР; критично аналізувати результати власної інженерно-технічної діяльності.

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

Пререквізити: успішне засвоєння дисципліни базується на знаннях, отриманих студентом під час вивчення дисциплін «Вища математика», «Фізика», «Теоретичні основи електротехніки», «Електричні машини», «Основи автоматизованого проектування електричних машин» (бакалаврський рівень).

Постреквізити: знання та уміння, отримані під час вивчення дисципліни, використовуються при виконанні магістерської дисертації та забезпечують подальше навчання на третьому (освітньо-науковому) рівні вищої освіти — доктор філософії (PhD).

3. Зміст навчальної дисципліни

Дисципліна структурно складається з 6-ти змістових модулів, а саме:

Змістовий модуль 1. Концепція систем автоматизованого проектування. Основні аспекти, цілі створення і функціонування САПР. Структура і склад САПР.

Змістовий модуль 2. Сучасні САПР. Геометричне та параметричне моделювання. CAD, CAE, CAM, CAPP, PDM, PLM. Вибір САПР.

Змістовий модуль 3. Характеристика процесу проектування ЕМПЕ з позицій його автоматизації. Етапи проектування. Особливості ЕМПЕ як об'єкта автоматизації проектування.

Змістовий модуль 4. Математичні моделі електромеханічних перетворювачів енергії у структурі САПР. Формалізація задачі оптимального проектування. Математична модель асинхронного двигуна.

Змістовий модуль 5. Пошук глобального оптимуму локальними та прямими методами. Генетичні алгоритми.

Змістовий модуль 6. Пошук локального оптимуму. Від математичної моделі до робочого креслення. Алгоритм оптимального проектування асинхронного двигуна з урахуванням вторинних явищ. Параметрична оптимізація у CAE-середовищах.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Основні інформаційні ресурси:

1. Шевченко В. П. Основи автоматизованого проектування електричних машин: конспект лекцій. — Одеса: Наука і техніка, 2008. — 104 с.
2. Наумчук О. М. Основи систем автоматизованого проектування: інтерактивний комплекс навчально-методичного забезпечення. — Рівне: НУВГП, 2008. — 136 с.
3. Васьковський Ю. М. Польовий аналіз електричних машин: навч. посібник. — К.: НТУУ «КПІ», ВПК ВПК «Політехніка», 2007. — 191 с.

4. Методи та засоби автоматизованого проектування електричних машин: комп'ютерний практикум [Електронний ресурс]: навч. посіб. / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: О. А. Гераскін, Є. М. Дубчак. — Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. — 35 с.

5. Pyrhonen J., Jokinen T., Hrabovcova V. Design of Rotating Electrical Machines. — 2nd ed. — Chichester: John Wiley & Sons, 2014. — 614 p.

Додаткові інформаційні ресурси:

6. Comsol Multiphysics Reference Manual [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://doc.comsol.com>

7. Meeker D. Finite Element Method Magnetics (FEMM): User's Manual [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.femm.info>

8. Lee K. Principles of CAD/CAM/CAE Systems. — Reading: Addison-Wesley, 1999. — 582 p.

9. Методичні вказівки до виконання комп'ютерних практикумів з дисципліни «Основи комп'ютерних технологій аналізу та синтезу електричних машин». Ч. 1: Використання систем автоматизованого проектування AutoCAD та SolidWorks для конструювання електричних машин [Електронний ресурс] / НТУУ «КПІ», кафедра електромеханіки. — Режим доступу: https://em.fea.kpi.ua/images/doc_stud/distsiplini/oktasem/oktasem_metod_c1.pdf

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Лекційні заняття (30 год):

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (література, завдання на СРС)
1	Лекція 1. Вступ. Концепція систем автоматизованого проектування (САПР). Місце дисципліни в підготовці магістра-електромеханіка. Основні аспекти та цілі створення і функціонування САПР, класифікація САПР. <i>Завдання на СРС: історія розвитку САПР електричних машин.</i> <i>Література: [2], [8].</i>
2	Лекція 2. Структура і склад САПР. Види забезпечення САПР (технічне, програмне, математичне, інформаційне, лінгвістичне, методичне, організаційне). Основні принципи створення САПР. <i>Література: [2], [8].</i>
3	Лекція 3. Сучасні САПР: CAD-системи. Геометричне моделювання: каркасне, поверхневе, твердотільне. Параметричне моделювання. 2D CAD та 3D CAD у проектуванні електромеханічних перетворювачів енергії (ЕМПЕ). <i>Завдання на СРС: огляд сучасних CAD-систем для конструювання електричних машин.</i> <i>Література: [8].</i>
4	Лекція 4. Сучасні САПР: CAE-системи (засоби інженерного аналізу). Метод скінченних елементів як основа CAE. Електромагнітні, теплові та механічні розрахунки ЕМПЕ у CAE-середовищах (FEMM, Comsol Multiphysics, Ansys). <i>Література: [3], [6], [7].</i>
5	Лекція 5. Сучасні САПР: CAM, CAPP, PDM, PLM. Підготовка автоматизованого виробництва. Керування документообігом та життєвим циклом виробу. Електронна конструкторська документація. Критерії вибору САПР. <i>Завдання на СРС: складові PLM-підходу для електромашинобудівного підприємства.</i> <i>Література: [8].</i>
6	Лекція 6. Характеристика процесу проектування ЕМПЕ з позицій його автоматизації. Етапи процесу проектування. Особливості ЕМПЕ як об'єкта автоматизації проектування. Комплекс засобів автоматизації проектування.

	<i>Література: [1], [2].</i>
7	Лекція 7. Математичні моделі ЕМПЕ у структурі САПР. Загальні вимоги до математичних моделей. Формалізація задачі оптимального проектування: незалежні змінні, система обмежень, цільова функція. <i>Завдання на СРС: метод згортки критеріїв оптимальності.</i> <i>Література: [1], [5].</i>
8	Лекція 8. Геометрична інтерпретація задачі оптимізації. Критерії оптимальності, границя допустимої області. Багатокритеріальна оптимізація ЕМПЕ. <i>Література: [1], [5].</i>
9	Лекція 9. Математична модель асинхронного двигуна як об'єкта оптимального проектування. Критерії оптимальності АД, склад змінних, що варіюються, обмеження, що накладаються в процесі оптимізації. <i>Література: [1], [5].</i>
10	Лекція 10. Пошук глобального оптимуму із застосуванням локальних методів. Поняття градієнта та гесіана критерію оптимальності. Області притягання локальних оптимумів, формування початкових точок пошуку. <i>Завдання на СРС: загальна схема пошуку глобального оптимуму.</i> <i>Література: [1].</i>
11	Лекція 11. Пошук глобального оптимуму із застосуванням прямих методів. Незалежний випадковий пошук (метод Монте-Карло). Багатоетапний пошук методом випадкових проб. Генетичні алгоритми оптимізації ЕМПЕ. <i>Література: [1].</i>
12	Лекція 12. Пошук локального оптимуму. Вибір форми представлення математичної моделі: проєкційний градієнтний метод, методи штрафних та бар'єрних функцій. Вибір напрямку і кроку пошуку: метод найкращої проби, метод конфігурацій, методи змінної метрики. <i>Завдання на СРС: метод золотого перерізу.</i> <i>Література: [1].</i>
13	Лекція 13. Від математичної моделі до робочого креслення. Бази даних у САПР електричних машин. Інтерактивна графіка та конструювання в діалоговому режимі. <i>Література: [8].</i>
14	Лекція 14. Алгоритм оптимального проектування асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором з урахуванням вторинних явищ. Формування математичної моделі, двоетапний метод оптимізації. <i>Література: [1], [5].</i>
15	Лекція 15. Автоматизоване проектування ЕМПЕ із застосуванням польових моделей. Параметрична оптимізація геометрії активної зони ЕМПЕ у програмах FEMM та Comsol Multiphysics (Parametric Sweep, Optimization). Перспективи застосування методів штучного інтелекту в САПР ЕМПЕ. Підсумки курсу. <i>Література: [3], [4], [6], [7].</i>

Практичні заняття (30 год). Практичні заняття дозволяють розвинути і закріпити теоретичні знання, набуті при вивченні лекційного курсу, а також отримати практичні навички автоматизованого проектування та оптимізації ЕМПЕ із застосуванням сучасних обчислювальних програм.

№ з/п	Назва теми і зміст практичного заняття	К-ть ауд.
-------	--	-----------

		годин
1	Постановка задачі оптимального проектування ЕМПЕ. Вибір незалежних змінних, формування системи обмежень та цільової функції для заданого типу ЕМПЕ.	4
2	Побудова математичної моделі асинхронного двигуна для задач оптимізації. Аналіз чутливості цільової функції до варійованих змінних.	4
3	Пошук глобального оптимуму прямими методами: реалізація методу Монте-Карло та методу випадкових проб для тестових цільових функцій.	4
4	Пошук локального оптимуму: градієнтні методи, методи штрафних та бар'єрних функцій. Порівняння збіжності методів.	4
5	Видача завдання та консультації з виконання РГР. Формування розрахункової області та вихідних даних для параметричної оптимізації фрагмента ЕМПЕ.	2
6	Параметрична оптимізація сегмента зубцево-пазової зони асинхронного двигуна у програмі Comsol Multiphysics: вирішувачі Stationary, Parametric Sweep, Optimization.	6
7	Модульна контрольна робота.	2
8	Автоматизована підготовка конструкторської документації за результатами оптимізаційного розрахунку. Захист РГР.	4

Розрахунково-графічна робота. Для закріплення та узагальнення отриманих знань студенти виконують індивідуальне завдання — РГР на тему «Оптимальне проектування фрагмента електромеханічного перетворювача енергії» (за індивідуальним варіантом). У рамках РГР студент формалізує задачу оптимізації (змінні, обмеження, цільова функція), виконує параметричну оптимізацію у САЕ-середовищі та оформлює результати у вигляді розрахунково-пояснювальної записки.

Модульна контрольна робота складається з двох частин (контрольних робіт): контрольна робота 1 — за змістовими модулями 1–3; контрольна робота 2 — за змістовими модулями 4–6.

Самостійна робота студента (90 год):

№ з/п	Назва теми, що виноситься на самостійне опрацювання	К-ть годин СРС
1	Історія розвитку САПР електричних машин	4
2	Огляд сучасних САД-систем для конструювання електричних машин	6
3	Складові PLM-підходу для електромашинобудівного підприємства	6
4	Метод згортки критеріїв оптимальності	6
5	Загальна схема пошуку глобального оптимуму	6
6	Метод золотого перерізу	4
7	Підготовка до практичних занять та опрацювання лекційного матеріалу	12
8	Підготовка до модульної контрольної роботи	6
9	Виконання розрахунково-графічної роботи	20
10	Підготовка до екзамену	20

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, передбачені РСО дисципліни. Використання засобів зв'язку для пошуку інформації в інтернеті чи в дистанційному курсі здійснюється за умови вказівки викладача;*
- *правила захисту індивідуальних завдань: захист розрахунково-графічної роботи здійснюється індивідуально; виконана та захищена РГР є умовою допуску до екзамену;*
- *політика дедлайнів та перескладань: якщо студент не проходив або не з'явився на МКР без поважної причини, його результат оцінюється у 0 балів. Перескладання результатів МКР не передбачено;*
- *політика щодо академічної доброчесності: Кодекс честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (<https://kpi.ua/files/honorcode.pdf>) встановлює загальні моральні принципи та правила етичної поведінки осіб, якими вони мають керуватись у своїй діяльності, в тому числі при вивченні та складанні контрольних заходів з дисципліни «Автоматизоване проектування електромеханічних перетворювачів енергії»;*
- *при використанні цифрових засобів зв'язку з викладачем (мобільний зв'язок, електронна пошта, переписка на форумах та у соцмережах тощо) необхідно дотримуватись загальноприйнятих етичних норм, зокрема бути ввічливим та обмежувати спілкування робочим часом викладача.*

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

Поточний контроль: експрес-опитування та виконання завдань на практичних заняттях, модульна контрольна робота, розрахунково-графічна робота.

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

Семестровий контроль: екзамен.

Умови допуску до семестрового контролю: виконана та захищена РГР, поточний семестровий рейтинг не менше 30 балів.

Рейтингова система оцінювання результатів навчання студентів передбачає визначення кількості балів, отриманих студентом під час вивчення дисципліни. Поточний (стартовий) семестровий рейтинг студента складається з балів, отриманих за:

- 4 відповіді (виконання завдань) під час експрес-опитувань на практичних заняттях;
- виконання модульної контрольної роботи (МКР);
- виконання та захист розрахунково-графічної роботи (РГР).

Система стартових рейтингових балів та критерії оцінювання

1. Робота на практичних заняттях. Ваговий бал — 7. Максимальна кількість балів за всі відповіді: $4 \times 7 = 28$ балів. Повна та докладна відповідь — 7; неточна відповідь або відповідь з помилками — 3...4; неправильна відповідь — 0.

2. Модульний контроль. Ваговий бал — 12. Максимальна кількість балів за МКР: $1 \times 12 = 12$ балів. МКР складається з двох частин (контрольних робіт). Повне виконання — 12; відповіді неповні — 8...11; відповіді з суттєвими похибками — 2...7; відповіді неправильні — 0.

3. Розрахунково-графічна робота. Ваговий бал — 20. Максимальна кількість балів за РГР: $1 \times 20 = 20$ балів. Повне та докладне виконання і вчасний захист — 20; робота з незначними похибками — 15...18; робота з суттєвими похибками — 10...14; роботу не виконано — 0.

Стартовий рейтинг: $RC = 28 + 12 + 20 = 60$ балів.

Форма семестрового контролю — екзамен. Остаточне оцінювання результатів навчання проводиться за стобальною рейтинговою шкалою. Екзаменаційна складова шкали дорівнює 40 % від загальної рейтингової шкали, тобто $Re = 40$ балів. Необхідною умовою допуску до екзамену є виконана і захищена РГР та стартовий рейтинг не менше 30 балів. Екзаменаційний білет складається з двох теоретичних запитань і однієї задачі.

Критерії оцінювання екзамену: повна відповідь (повне, безпомилкове розв'язування завдання) — 39–40 балів; відповідь з певними несуттєвими помилками — 30–38 балів; відповідь без суттєвих помилок, але не з повним обсягом потрібної інформації — 20–29 балів; неповна відповідь з певними помилками — 12–19 балів; неповна відповідь зі значною кількістю помилок, які не є принциповими — 8–11 балів; повністю неправильна відповідь або відсутність відповіді — 0 балів.

Сумарна кількість рейтингових балів визначається як $RP = RC + Re$.

Таблиця відповідності сумарних 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

8. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

Перелік питань, які виносяться на семестровий контроль, надається студентам наприкінці семестру та розміщується у дистанційному курсі. Сертифікати проходження дистанційних чи онлайн-курсів за відповідною тематикою можуть бути зараховані за умови виконання вимог, наведених у Положенні про визнання в КПІ ім. Ігоря Сікорського результатів навчання, набутих у неформальній/інформальній освіті (Наказ № 7-177 від 01.10.2020).

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено асистентом кафедри електромеханіки ФЕА, доктором філософії (PhD) Стулішенком А.С.

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

Погоджено навчально-методичною комісією факультету електроенерготехніки та автоматики (протокол № 10 від 26.06.2026 р.)