



# КУРСОВИЙ ПРОЕКТ З КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДАМИ

## Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

### Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	Перший (бакалаврський)
Галузь знань	14 «Електрична інженерія»
Спеціальність	141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
Освітня програма	Електромеханічні системи автоматизації, електропривод та електромобільність
Статус дисципліни	Обов'язкова
Форма навчання	Очна (денна)
Рік підготовки, семестр	4 курс, осінній семестр; 3 курс, осінній семестр (прискорена)
Обсяг дисципліни	45 годин / 1.5 кредити ECTS
Семестровий контроль	Залік
Розклад занять	<a href="http://rozklad.kpi.ua">rozklad.kpi.ua</a>
Мова викладання	Українська/Англійська
Інформація про керівника курсу	асистент Ніконенко Євген Олексійович, 0660214977
Розміщення курсу	<a href="https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=4885">https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=4885</a>

### Програма навчальної дисципліни

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

Силабус навчальної дисципліни «Курсовий проект з керування електроприводами» складено відповідно до освітньої програми «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» підготовки бакалаврів спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка.

**Метою навчальної дисципліни** є формування у студентів наступних здатностей: виконувати оригінальні дослідження, досягати наукових результатів, які створюють нові знання в електричній інженерії; усно і письмово презентувати та обговорювати результати наукових досліджень та/або інноваційних розробок українською та англійською мовами; виявляти, ставити та вирішувати проблеми дослідницького характеру в галузі електричної інженерії, оцінювати та забезпечувати якість виконуваних досліджень; здатність до пошуку інформації з різних джерел; здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях; здатність вчитися та оволодівати сучасними знаннями; здатність виявляти та оцінювати ризики.

**Предмет навчальної дисципліни** – електромеханічні системи змінного струму на основі асинхронного чи синхронного електроприводу, які включають в себе нові електромеханічні перетворювачі, засоби силової електроніки, методи керування та обробки сигналів, а також проблематика сучасних наукових досліджень в області електромеханічних систем змінного струму.

Компетенції: (K02) здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях; (K03) здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово; (K05) здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел; (K06) здатність виявляти, ставити та вирішувати проблеми; (K08) здатність працювати автономно; (K11) здатність вирішувати практичні задачі із застосуванням систем автоматизованого проектування і розрахунків (САПР); (K12) здатність вирішувати практичні задачі із залученням методів математики, фізики та електротехніки; (K15) здатність вирішувати комплексні спеціалізовані задачі і практичні проблеми, пов'язані з роботою електричних машин, апаратів та автоматизованого електроприводу; (K17) здатність розробляти проекти електроенергетичного, електротехнічного та електромеханічного устаткування із дотриманням вимог законодавства, стандартів і технічного завдання; (K19) усвідомлення необхідності підвищення ефективності електроенергетичного, електротехнічного та електромеханічного устаткування; (K20) усвідомлення необхідності постійно розширювати власні знання про нові технології в електроенергетиці, електротехніці та електромеханіці; (K22) здатність використовувати математичні методи та методи теорії автоматичного керування при дослідженні лінійних та нелінійних систем, проводити аналіз показників якості, синтезувати регулятори, складати та аналізувати структурні схеми систем автоматичного керування; (K23) здатність застосовувати пакети моделюючих програм для аналізу, синтезу та дослідження електромеханічних систем автоматизації та електроприводів; (K25) здатність здійснювати розрахунки механічної частини електропривода, механічних перехідних процесів, розраховувати параметри двигунів постійного та змінного струму, виконувати їх моделювання та аналіз; (K26) здатність вирішувати комплексні проблеми, пов'язані із керуванням автоматизованими електроприводами різноманітних технологічних застосувань з електроприводами постійного та змінного струму.

Уміння: (ПР03) знати принципи роботи електричних машин, апаратів та автоматизованих електроприводів та уміти використовувати їх для вирішення практичних проблем у професійній діяльності; (ПР06) застосовувати прикладне програмне забезпечення, мікроконтролери та мікропроцесорну техніку для вирішення практичних проблем у професійній діяльності; (ПР07) здійснювати аналіз процесів в електроенергетичному, електротехнічному та електромеханічному обладнанні, відповідних комплексах і системах; (ПР08) обирати і застосовувати додатні методи для аналізу і синтезу електромеханічних та електроенергетичних систем із заданими показниками; (ПР09) уміти оцінювати енергоефективність та надійність роботи електроенергетичних, електротехнічних та електромеханічних систем; (ПР10) Знаходити необхідну інформацію в науково-технічній літературі, базах даних та інших джерелах інформації, оцінювати її релевантність та достовірність; (ПР11) вільно спілкуватися з професійних проблем державною та іноземною мовами усно і письмово, обговорювати результати професійної діяльності з фахівцями та нефахівцями, аргументувати свою позицію з дискусійних питань; (ПР17) розв'язувати складні спеціалізовані задачі з проектування і технічного обслуговування електромеханічних систем, електроустаткування електричних станцій, підстанцій, систем та мереж; (ПР18) вміти самостійно вчитися, опановувати нові знання і вдосконалювати навички роботи з сучасним обладнанням, вимірною технікою та прикладним програмним забезпеченням; (ПР19) застосовувати додатні емпіричні і теоретичні методи для зменшення втрат електричної енергії при її виробництві, транспортуванні, розподіленні та використанні; (ПР20) знати і розуміти принципи керування лінійними, нелінійними та дискретними системами автоматичного керування; математичних методів в

електромеханіці; (ПР22) знати і розуміти основи перетворення координат та принципів частотного та векторного керування електромеханічними системами; (ПР25) знати способи керування силовими перетворювачами та підвищення ефективності алгоритмів керування електроприводами, електромеханічними системами та їх силовими перетворювачами; (ПР26) знати і розуміти закони перетворення структурних схем, типові закони керування, методи дослідження стійкості лінійних систем автоматичного керування; типові бібліотеки блоків Simulink, основи програмування у М-файлах; (ПР27) знати рівняння руху електроприводу для різних варіантів мас; методики розрахунку механічної частини електроприводу; способів керування двигунами постійного та змінного струму; методів вибору електродвигунів за потужністю; (ПР28) розробляти проектну та конструкторську документацію для схем керування електромеханічними системами; програмувати мікропроцесори, мікроконтролери, програмовані логічні інтегральні схеми та логічні контролери та використовувати їх для реалізації алгоритмів керування електроприводами.

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

Для успішного виконання проекту студент має пройти підготовку з освітніх компонентів «Теоретичні основи електротехніки», «Теорія автоматичного керування», «Робототехніка та мехатроніка», «Автоматизований електропривод» і «Основи мікропроцесорної техніки» першого (бакалаврського) рівня, оскільки методи і підходи до розробки і керування електромеханічними системами змінного струму ґрунтуються на основних положеннях цих дисциплін.

Компетенції, знання та вміння, одержані в процесі виконання курсового проекту є необхідними для подальшого проходження переддипломної практики та успішного написання дипломного проекту бакалавра.

## **3. Зміст навчальної дисципліни**

Дисципліна «Курсовий проект з керування електроприводами» складається з наступних етапів:

1. Отримання теми та завдання на курсовий проект. Формулювання завдання на курсовий проект і його деталізація.
2. Розрахунок параметрів номінального режиму та схеми заміщення двигуна.
3. Проектування класичної і робастної систем векторного керування швидкістю АД/СДПМ. Розробка структурних схем алгоритмів керування АД/СДПМ.
4. Практична реалізація системи векторного керування АД/СДПМ: розробка функціональної схеми електроприводу, визначення призначення її основних елементів, розрахунок та підбір обладнання.
5. Дослідження динамічних та статичних характеристик спроектованих систем. Дослідження властивостей робастності в системах керування швидкістю АД/СДПМ. Дослідження енергетичних характеристик систем векторного керування.
6. Виконання індивідуального завдання.
7. Оформлення курсового проекту. Подання курсового проекту на перевірку.
8. Захист курсового проекту.

#### 4. Навчальні матеріали та ресурси

1. Загірняк М.В., Клепиков В.Б., Ковбаса С.М., Михальський В.М., Пересада С.М., Садовой О.В., Шаповал І.А. Енергоефективні електромеханічні системи широкого технологічного призначення. Київ: НАН України, 2018. 310 с.
2. A. Emadi Handbook of Automotive Power Electronics and Motor Drives. – CRC Press. 2005. –668р.
3. Теорія електропривода / За ред. М.Г. Поповича.- К.: Вища школа, 1993.-494 с.
4. Методи робастного адаптивного керування електромеханічними системами з підвищеними динамічними та енергетичними показниками: звіт про НДР. НТУУ "КПИ". № ДР 0115U000381. Київ, 2017. 506 с.
5. M. Ehsani, Y. Gao, S. Longo, K. M. Ebrahimi Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles. Third edition. – CRC Press, 2018, –573р.
6. Розробка енергоефективної електромеханічної системи електробусу на основі адаптивного векторно-керованого асинхронного електроприводу з акумуляторно-суперконденсаторним живленням: звіт про НДР / НТУУ "КПИ". № ДР 0117U004284. Київ, 2018. Том 1. 472 с.
7. S.-K. Sul, Control of electric machine drive systems. John Wiley & Sons, 2011.
8. K. Dąbala, M. P. Kazmierkowski, Converter-Fed Electric Vehicle (Car) Drives–A Critical Review //Przeglad Elektrotechniczny, 2019, vol. 95, no. 9, 12 p.

#### Навчальний контент

##### 5. Методика опанування навчальної дисципліни(освітнього компонента)

Кожному студенту надається технічне завдання на розробку та дослідження електромеханічної системи змінного струму з заздалегідь вибраним механізмом.

В процесі виконання курсового проекту студенти повинні:

1. Обрати двигун (асинхронний (АД) чи синхронний (СДПМ)), провести розрахунок його номінального режиму та розрахунок параметрів Г-подібної схеми заміщення.
2. Розробити систему векторного керування швидкістю АД/СДПМ.
3. Модифікувати систему керування додаткові робастифікуючими зв'язками.
4. Розробити дві структурні схеми для алгоритмів керування швидкістю АД/СДПМ.
5. Визначити призначення всіх основних елементів функціональної схеми, розрахувати та підібрати кожний елемент обладнання.
6. Розробити функціональну схему електроприводу, яка включає двигун та деталізовану схему електроприводу.
7. Провести дослідження засобами математичного моделювання динамічних та статичних характеристик спроектованих систем.
8. Дослідити властивості робастності в системах керування швидкістю АД/СДПМ до варіації активного опору роторного/статорного кола.
9. Дослідити енергетичні характеристики систем векторного керування в залежності від значення варіації вказаних параметрів.
10. Виконати індивідуальне завдання.

## 6. Самостійна робота студента

Тиждень семестру	Вид самостійної роботи	Кількість годин СРС
1	Отримання теми і завдання на курсовий проект. Формулювання завдання на курсовий проект і його деталізація.	1
2	1. Розрахунок параметрів номінального режиму та схеми заміщення двигуна. Проектування класичної і робастної систем векторного керування швидкістю АД/СДПМ. Розробка структурних схем алгоритмів керування швидкістю АД/СДПМ.	4
4	2. Практична реалізація системи векторного керування АД/СДПМ: розробка функціональної схеми електромеханічної системи, визначення призначення її основних елементів, розрахунок та підбір обладнання.	10
6	3. Дослідження динамічних та статичних характеристик спроектованих систем. Дослідження властивостей робастності в системах керування швидкістю АД/СДПМ.	10
7	4. Дослідження енергетичних характеристик систем векторного керування.	5
8	5. Виконання індивідуального завдання.	5
10	Оформлення курсового проекту.	8
12	Подання курсового проекту на перевірку і захист.	2

## Політика та контроль

### 7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Система вимог, які викладач ставить перед студентом:

- 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 «Курсовий проект з електромеханічних систем електричних транспортних засобів»;
- 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;
- студенти зобов'язані відвідувати консультації з дисципліни «Курсовий проект з електромеханічних систем електричних транспортних засобів»;
- студенти зобов'язані регулярно переглядати повідомлення в курсі moodle, та/або спільному телеграм-каналі, а також оперативно на них реагувати;
- у випадку дистанційної форми навчання, студенти мають вчасно завантажувати розділи курсового проекту в Google клас для перевірки.

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

Рейтингова оцінка з курсового проекту має дві складові. Перша (стартова) характеризує роботу студента з курсового проектування та її результат – якість пояснювальної записки та графічного матеріалу.

Друга складова характеризує якість захисту студентом курсового проекту.

Розмір шкали стартової складової дорівнює 60 балів, а складової захисту – 40 балів.

### 1. Стартова складова:

- своєчасне виконання календарного плану (за кожний тиждень запізнення штрафні бали по кожному пункту складають 20 % від максимального за пункт):

1.1. Розрахунок параметрів номінального режиму та схеми заміщення двигуна. Проектування класичної і робастної систем векторного керування швидкістю АД/СДПМ. Розробка структурних схем алгоритмів керування швидкістю АД/СДПМ. – макс. 5 балів:

- вірний вибір двигуна, вірний розрахунок його параметрів (СДПМ) – 2,0 балів;
- вірний вибір двигуна, частково вірний розрахунок параметрів (СДПМ) – 1,0 бал;
- невірний вибір двигуна (СДПМ) – 0 балів;
- вірний розрахунок параметрів номінального режиму і параметрів схеми заміщення двигуна (АД) – 2,0 балів;
- частково вірний розрахунок параметрів номінального режиму і/або параметрів схеми заміщення двигуна (АД) – 1,0 бал;
- вірний розрахунок параметрів номінального режиму і параметрів схеми заміщення двигуна (АД) – 0 балів;
- розроблені структурні схеми керування швидкістю АД (стандартний і робастний алгоритм)/СДПМ відповідають варіанту, є повністю вірними, і оформлені згідно з вимогами ДСТУ (всі варіанти) – 2,0 балів;
- розроблені структурні схеми керування швидкістю відповідають варіанту, оформлені згідно з вимогами ДСТУ, але мають помилки – 1,0 бал;
- невідповідність розроблених структурних схем керування швидкістю АД/СДПМ варіанту або вимогам ДСТУ – 0 балів;
- матеріал оформлено якісно згідно вимогам (всі варіанти) – 1 бал;
- матеріал оформлено якісно з незначними помилками – 0,5 балів;
- матеріал оформлено неякісно – 0 балів;

1.2. Практична реалізація системи векторного керування АД/СДПМ: розробка функціональної схеми електромеханічної системи, визначення призначення її основних елементів, розрахунок та підбір обладнання. – макс. 15 балів

- розроблена функціональна схема електроприводу відповідає варіанту, містить всі необхідні функціональні блоки і оформлена згідно з вимогами ДСТУ – 2,0 балів;
- розроблена функціональна схема електроприводу відповідає варіанту, оформлена згідно з вимогами ДСТУ, але містить не всі функціональні блоки – 1,0 бал;
- розроблена функціональна схема електроприводу не відповідає варіанту або вимогами ДСТУ – 0 балів;
- вірний розрахунок основних параметрів перетворювача, вірний підбір всіх його елементів, обґрунтованість вибору обладнання – 2,0 балів;
- вірний розрахунок основних параметрів перетворювача та частково вірний підбір всіх його елементів або частково невірне обґрунтування вибору обладнання – 1,5 балів;

- частково вірний розрахунок основних параметрів перетворювача та частково вірний підбір всіх його елементів або частково вірне обґрунтування вибору обладнання – 1,0 балів;
- частково вірний розрахунок основних параметрів перетворювача та невірний підбір всіх його елементів або невірне обґрунтування вибору обладнання – 0,5 балів;
- невірний розрахунок основних параметрів перетворювача – 0 балів;
- матеріал оформлено якісно згідно вимогам – 1 бал;
- матеріал оформлено якісно з незначними помилками – 0,5 балів;
- матеріал оформлено неякісно – 0 балів;

1.3. Дослідження динамічних та статичних характеристик спроектованих систем. Дослідження властивостей робастності в системах керування швидкістю АД/СДПМ. – макс. 15 балів згідно таблиці + оформлення

Критерій оцінювання	Відповідність критерію								
	1	1	1	1	1	1	1	1	0
Варіант	1	1	1	1	1	1	1	1	0
Фізичні обмеження ЕП	1	1	1	1	0	0	0	0	
Повний обсяг	1	1	0	0	1	1	0	0	
Якість опису	1	0	1	0	1	0	1	0	
Кількість балів	12	11-10	9-4	8-3	4-2	3-2	3-1	2-1	0

В таблиці використовуються скорочення: «Варіант» – проведені дослідження відповідають варіанту студента; «Повний обсяг» – дослідження виконані в повному обсязі; «Фізичні обмеження ЕП» – дослідження відповідають фізичним обмеженням електроприводу; «Якість опису» – кожний етап дослідження достатньо добре описаний, має обґрунтування та вичерпний аналіз результатів. Відповідність критеріям оцінюється як повна – «1» та неповна/часткова/відсутність відповідності – «0», в залежності від повноти якої виставляється остаточно оцінка серед діапазону балів.

Бали за оформлення:

- матеріал (особливо графічний) оформлено якісно згідно вимогам – 3 бали;
- матеріал оформлено якісно з незначними помилками – 1,5-2,5 бали;
- матеріал оформлено неякісно – 0 балів;

1.4. Дослідження енергетичних характеристик систем векторного керування. – макс. 5 балів згідно таблиці + оформлення (опис критеріїв аналогічний до п.3)

Критерій оцінювання	Відповідність критерію				
Варіант	1	1	1	1	0
Фізичні обмеження ЕП	1	1	0	0	
Якість опису	1	0	1	0	
Кількість балів	4,5	4,0-3,5	3,0-2,0	1,5-0,5	0

Бали за оформлення:

- матеріал (особливо графічний) оформлено якісно згідно вимогам – 0,5 бали;
- матеріал оформлено якісно з незначними помилками – 0,25 бали;
- матеріал оформлено неякісно – 0 балів;

1.5. Виконання індивідуального завдання – макс. 10 балів згідно таблиці + оформлення (опис критеріїв аналогічний до п.3)

Критерій оцінювання	Відповідність критерію				
	1	1	1	1	0
Варіант	1	1	1	1	0
Фізичні обмеження ЕП	1	1	0	0	
Якість опису	1	0	1	0	
Кількість балів	9	8,5-7,5	7,0-5,0	4,5-1,0	0

Бали за оформлення:

- матеріал (особливо графічний) оформлено якісно згідно вимогам – 1 бал;
- матеріал оформлено якісно з незначними помилками – 0,5 балів;
- матеріал оформлено неякісно – 0 балів;

1.6. Подання фінальної версії курсового проекту на перевірку – макс. 10 балів:

- якість оформлення, виконання вимог нормативних документів – до 5 балів;
- якість графічного матеріалу і дотримання вимог ДСТУ – до 5 балів.

2. Складова захисту курсового проекту.

На захист вноситься 2 теоретичні та 2 практичні запитання, кожне з яких оцінюється у 10 балів.

2.1. Ступінь володіння теоретичним матеріалом (2 теоретичні запитання за матеріалами курсовому проекту) – макс. 10 балів кожне:

- «відмінно», повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) – 9-10 балів;
- «добре», достатньо повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації), або повна відповідь з незначними неточностями – 6-8 балів;
- «задовільно», неповна відповідь (не менше 60% потрібної інформації) та незначні помилки – 4-5 балів;
- «незадовільно», незадовільна відповідь (не відповідає вимогам на 4 бали) – 0 балів.

2.1. Ступінь володіння практичними вміннями (демонстрація роботи програми, вміння визначити відповідність фрагменту алгоритму програми, пояснити застосовані теоретичні і технічні рішення) – макс. 10 балів кожне:

- «відмінно», повне безпомилкове розв'язування завдання – 10 балів;
- «добре», повне розв'язування завдання з несуттєвими неточностями – 7-9 балів;
- «задовільно», завдання виконано з певними недоліками – 4-6 балів;
- «незадовільно», завдання не виконано – 0 балів.

Керівник курсового проекту має право відзначити оригінальність технічних рішень, активність та своєчасність виконання курсового проекту шляхом нарахування додаткових бонусних балів в розмірі до 10 балів.

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

Кількість балів	Оцінка
95-100	Відмінно
85-94	Дуже добре
75-84	Добре
65-74	Задовільно



60-64	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Менше 30	Не допущено

#### **9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)**

*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** асистентом кафедри автоматизації електромеханічних систем та електроприводу ФЕА, Ніконенко Є.О.

**Ухвалено** кафедрою автоматизації електромеханічних систем та електроприводу ФЕА (протокол № 11 від 21.06.2023 р.)

**Погоджено** Методичною комісією факультету (протокол № \_10\_ від \_22.06.2023\_\_\_\_)