



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



Кафедра автоматизації
електромеханічних
систем та
електроприводу ФЕА

ЛІНІЙНІ ЕЛЕКТРОПРИВОДИ ТА СИСТЕМИ МАГНІТНОГО ПІДВІШУВАННЯ

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Другий (магістерський)</i>
Галузь знань	<i>14 «Електрична інженерія»</i>
Спеціальність	<i>141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»</i>
Освітня професійна програма	<i>Електромеханічні системи автоматизації, електропривод та електромобільність</i>
Статус дисципліни	<i>Вибірковий освітній компонент циклу професійної підготовки із Ф-Каталогу</i>
Форма навчання	<i>Очна (денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>1 курс, весняний семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>36 годин лекцій / 36 год. пр. занять / 108 год. СРС / 6 кредитів ECTS</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Залік / РГР / МКР</i>
Розклад занять	<i>http://rozklad.kpi.ua</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лектор: к.т.н., доц. Теряєв Віталій Іванович, 0957555224</i>
Розміщення курсу	<i>https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=2581</i>

Програма навчальної дисципліни

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

Програму освітнього компоненту «Лінійні електроприводи та системи магнітного підвішування» складено для формування індивідуальної траєкторії навчання здобувачів ступеня магістра за освітньою програмою «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка.

Метою дисципліни є ознайомлення з конструкцією, принципом дії, класифікацією та різновидами лінійних електродвигунів, їх перевагами та недоліками. В ході вивчення дисципліни будуть розглядатись області застосування та приклади практичного використання лінійного електроприводу, методи керування лінійними двигунами, особливості їх характеристик та математичного моделювання, викладатись авторська інженерна методика розрахунку лінійного асинхронного двигуна.

В дисципліні також представлена інформація щодо областей застосування та принципів технічної реалізації систем магнітного підвішування, побудованих на різних фізичних явищах. Докладно розглядатимуться системи електромагнітного підвішування, їх масогабаритні і енергетичні показники, принципи розрахунку силових електромагнітів систем магнітного підвішування та горизонтальної стабілізації, питання забезпечення стійкості.

Предмет освітнього компоненту включає керування процесами перетворення енергії в лінійних електроприводах і системах електромагнітного підвішування.

Метою вивчення дисципліни є набуття знань з теорії і принципів технічної реалізації сучасних систем лінійного електроприводу та магнітного підвішування, призначених для транспорту, машинобудування, робототехніки, автоматизації виробництва, військової та авіаційно-космічної техніки.

Програмні результати навчання, які поглиблює дисципліна:

РН07. Планувати та виконувати наукові дослідження та інноваційні проекти в сфері електроенергетики, електротехніки та електромеханіки.

РН11. Вільно спілкуватися усно і письмово державною та іноземною мовами з сучасних наукових і технічних проблем електроенергетики, електротехніки та електромеханіки.

РН15. Синтезувати алгоритми робастного та адаптивного, векторного керування, слідкуючого та програмного керування рухом.

РН19. Застосовувати енергоефективні методи керування при розробці нових електромеханічних систем автоматизації та електроприводів, електромобілів.

Набуті фахові компетентності, які забезпечує дисципліна:

ФК1. Здатність застосовувати існуючі та розробляти нові методи, методики, технології та процедури для вирішення інженерних завдань електроенергетики, електротехніки та електромеханіки.

ФК4. Здатність демонструвати знання і розуміння математичних принципів і методів, необхідних для використання в електроенергетиці, електротехніці та електромеханіці.

ФК11. Здатність проектувати алгоритми робастного та адаптивного керування для електромеханічних систем автоматизації та електроприводів, розробляти оптимальні та інтелектуальні закони керування з вико ристанням методів ідентифікації та спостереження.

ФК17. Здатність до виконання дослідно-конструкторських робіт, що передбачають розробку нових та модернізацію існуючих електромеханічних систем автоматизації та електроприводів.

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

Для успішного засвоєння дисципліни студент повинен мати базові знання в галузі фізики та математики, теорії автоматичного керування, елементів автоматизованого електроприводу, теорії електроприводу, автоматизованого електроприводу, промислових електроприводів та електромеханічних систем.

Компетенції, знання та уміння, одержані в процесі вивчення дисципліни, поглиблюють результати навчання, визначені освітньою програмою і дають можливість майбутнім спеціалістам створювати сучасні електромеханічні системи для технологічних застосувань, пов'язаних з безконтактним керуванням положенням об'єктів у просторі. Набуті знання і уміння також можуть бути використані здобувачами при виконанні магістерських дисертацій.

2. Зміст навчальної дисципліни

Дисципліну структурно розділено на 4 розділи, а саме:

Розділ 1. Електроприводи з лінійними двигунами

Тема 1.1 Принципи утворення та класифікація лінійних електродвигунів

Тема 1.2 Перспективні області застосування, переваги та недоліки лінійних електроприводів

Тема 1.3 Особливості математичного моделювання електроприводів з лінійними електродвигунами

Тема 1.4 Методика проектування лінійного асинхронного електродвигуна

Тема 1.5 Методи підвищення техніко-економічних показників лінійних електроприводів

Розділ 2. Загальні принципи побудови систем регулювання положення

Тема 2.1 Системи слідкуючого та програмного керування. Терміни та визначення, класифікація, узагальнена функціональна схема

Тема 2.2 Зображення похибок, добротність, технічні вимоги та етапи проектування програмних та слідкуючих електроприводів

Тема 2.3 Математичний опис слідкуючого електроприводу при стандартних налаштуваннях

Тема 2.4 Методи підвищення точності слідкуючих та програмних електроприводів

Розділ 3. Системи магнітного підвішування

Тема 3.1. Різновиди та класифікація систем магнітного підвішування

Тема 3.2. Перспективні області застосування магнітного підвісу

Тема 3.3. Проблеми стійкості систем магнітного підвішування з постійними магнітами та електромагнітами постійного струму

Тема 3.4. Системи магнітного підвісу транспортних засобів

Тема 3.5. Системи віброзахисту на основі магнітного підвісу

Тема 3.6 Методика проектування силових електромагнітів систем магнітного підвішування і стабілізації

Тема 3.7. Апаратна частина систем електромагнітного підвішування

Розділ 4. Системи високошвидкісного наземного транспорту з лінійним електроприводом і магнітним підвішуванням

Тема 4.1 Принцип побудови систем високошвидкісного наземного транспорту з лінійним електроприводом і магнітним підвішуванням

Тема 4.2 Розрахунок зусиль, які долаються системами лінійного електроприводу і магнітного підвішування транспортного засобу

Тема 4.2 Перспективні напрямки застосування і техніко-економічні показники високошвидкісного наземного транспорту з лінійним електроприводом і магнітним

підвішуванням

Тема 4.3. Проблеми і перспективи високошвидкісного наземного транспорту

3. Навчальні матеріали та ресурси

Література :

1. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи / За редакцією М.Г.Поповича, О.Ю.Лозинського. Навчальний посібник з грифом МОН України для студентів вищих навчальних закладів. – К.: Либідь, 2005. - 680 с.
- 2.

Навчальний контент

4. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Лекційні заняття

№ л е к ц ї .	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)
	Розділ 1. Електроприводи з лінійними двигунами Тема 1.1 Принципи утворення та класифікація лінійних електродвигунів
	Тема 1.2 Перспективні області застосування, переваги та недоліки лінійних електроприводів
	Тема 1.3 Особливості математичного моделювання електроприводів з лінійними електродвигунами
	Тема 1.4 Методика проектування лінійного асинхронного електродвигуна
	Тема 1.5 Методи підвищення техніко-економічних показників лінійних електроприводів
	Розділ 4. Металорізальні верстати з лінійним електроприводом Тема 4.1. Електроприводи з лінійними електродвигунами. Принципи утворення та класифікація лінійних електродвигунів. Перспективні області застосування, переваги та недоліки лінійних електроприводів. Особливості математичного моделювання електроприводів з лінійними електродвигунами. Література: 1, 18.

Практичні заняття

№ з/п	Назва теми практичного заняття	Кількість ауд. годин
1	Практичне заняття 1. Основи розробки керуючих програм для верстатів з числовим програмним керуванням. Оволодіння навичками розробки керуючих програм для верстатів з числовим програмним керуванням та їх верифікація в інтегрованому середовищі. Література: 7, 8, 9.	4
2	Практичне заняття 2. Розробка електромеханічних систем з багатоосьовим переміщенням на основі синхронних сервосистем. Огляд основних складових електромеханічних систем з багатоосьовим переміщенням. Контролер руху та його взаємодія з програмованим логічним контролером. Комунікація в реальному часі. Програмування контролера руху. Література: 7, 8.	4
3	Практичне заняття 3. Дослідження функціональних можливостей верстатів з ЧПК в програмному середовищі CNC SIMULATOR. Огляд основних функціональних можливостей сучасних верстатів з числовим програмним керуванням в спеціалізованих програмних пакетах. Приклади програм. Література: 7, 8.	4
4	Практичне заняття 4. Дослідження функціональних можливостей гравера з ЧПК в програмному середовищі GRBL Control. Принципи програмної генерації коду керуючих програм в системах автоматичного проектування. Література: 7.	4

Примітка: 2 год. практичних занять використовуються для проведення МКР

Самостійна робота студента

№ з/п	Вид самостійної роботи	Кількість годин СРС
1	Підготовка до лекцій	18
2	Підготовка до практичних занять	18
3	Підготовка до МКР	10
4	Підготовка та виконання РГР	30
5	Підготовка до заліку	32
	Разом	108

Політика та контроль

5. 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 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;*
- *політика дедлайнів та перескладань: якщо студент не проходив або не з'явився на МКР (без поважної причини), його результат оцінюється у 0 балів;*
- *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 «Автоматизований електропривод»;*
- *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.*

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

Поточний контроль: експрес-опитування на лекціях, МКР, опитування на практичних заняттях, РГР, МКР.

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

Семестровий контроль: залік.

Умови допуску до семестрового контролю: семестровий рейтинг більше 30 балів, виконання РГР та МКР.

Загальна рейтингова оцінка студента за роботу в семестрі складається з балів, отриманих за наступні види навчальної роботи:

1. Лекційні заняття.

Відповіді під час проведення експрес-опитувань на лекціях. Ваговий бал дорівнює 1. Максимальна кількість балів за всі 18 лекцій становить 18 балів. Нарахування балів за 1 лекцію здійснюється за наступними критеріями:

- 1 бал отримує студент, який надав правильні відповіді під час опитування на лекції;
- відсутній студент не бере участі у експрес-опитуванні і не отримує відповідних балів;
- студент, що з поважних причин пропустив лекцію, може бути додатково опитаний (або надати письмові відповіді на контрольні запитання) за темою лекції і отримати 1 бал.

2. Практичні заняття.

Опитування на практичних заняттях. Ваговий бал дорівнює 1. Максимальна кількість балів за всі 18 практичних занять становить 18 балів. Нарахування балів за 1 заняття здійснюється за наступними критеріями:

- 1 бал отримує студент, який надав правильні відповіді під час опитування;
- відсутній студент не бере участі у експрес-опитуванні і не отримує відповідних балів;
- студент, що з поважних причин пропустив заняття, може бути додатково опитаний (або надати письмові відповіді на контрольні запитання) за темою заняття і отримати 1 бал.

3. Розрахунково-графічна робота.

Ваговий бал дорівнює 24. Нарахування балів за РГР здійснюється за наступним критерієм:

- 24 бали – РГР виконано у повному обсязі без помилок, матеріал викладено логічно з відповідними висновками, робота оформлена за вимогами, студент показує глибокі знання з питань роботи, впевнено і докладно відповідає на поставлені запитання під час захисту;
- 23-18 балів – РГР виконано у повному обсязі з незначними помилками або неточностями, але в цілому матеріал викладено логічно з відповідними

висновками, оформлення переважно відповідає вимогам, під час захисту студент показує знання з питань роботи, майже впевнено відповідає на поставлені запитання;

- 17-8 балів – РГР виконано у повному обсязі з незначними помилками або неточностями, матеріал викладено здебільшого логічно, з нечітко сформульованими висновками, оформлення майже відповідає вимогам, під час захисту студент виявляє невпевненість, показує слабкі знання з питань роботи, не завжди дає вичерпні відповіді на запитання;
- 0 балів – РГР не виконано взагалі, або виконано не в повному обсязі, у роботі немає висновків або вони носять декларативний характер, під час захисту студент не може відповісти на жодне поставлене запитання з теми роботи.

4. Модульна контрольна робота.

Форма проведення МКР – письмова. Для МКР виділяється 2 години занять. Темі, які виносяться на МКР, наведені в п. 7. Кількість запитань – 2.

Ваговий бал дорівнює 40. Нарахування балів за МКР здійснюється за наступними критеріями:

- «відмінно», повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) – 35-40 балів;
- «добре», достатньо повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації), або повна відповідь з незначними неточностями – 25-34 бали;
- «задовільно», неповна відповідь (не менше 60% потрібної інформації) та незначні помилки – 15-24 бали;
- «незадовільно», незадовільна відповідь або відсутність під час проведення роботи – 0 балів.

За активну роботу на лекційних і практичних заняттях протягом семестру, реферування додаткових тем, наявність повного та змістовного конспекту лекцій викладач має право додати студенту до 15 заохочувальних балів.

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

Необхідною умовою допуску до заліку є виконані і захищені лабораторні роботи та РГР.

Форма проведення заліку – письмова, з усним опитуванням, заліковий білет складається з трьох запитань.

Максимальна оцінка заліку складає 100 балів.

Критерії оцінювання 1 запитання:

- 30-33,3 бала – повна і правильна відповідь на запитання;
- 21-29 балів – повна відповідь на запитання з незначними помилками або неточностями;
- 10-20 балів – майже повна відповідь з незначними помилками або неточностями;
- 0 балів – відповідь відсутня або неправильна.

Для отримання заліку з кредитного модулю «автоматом» потрібно мати рейтинг за роботу в семестрі не менше 60 балів, а також виконані умови допуску до заліку. Студенти, які наприкінці семестру мають рейтинг менше 60 балів, а також ті, хто хоче підвищити свою оцінку в системі ECTS, виконують залікову контрольну роботу. При цьому набрані студентом раніше бали анулюються, а оцінка за залікову контрольну роботу є остаточною.

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

7. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

Перелік тем, які виносяться на семестровий контроль

Перелік запитань для підготовки до заліку

1. Програмні та слідкуючі електроприводи. Класифікація, визначення. Узагальнена функціональна схема ЕМС регулювання положення. Варіанти реалізації контуру положення.
2. Типові види навантажень, задаючих дій та похибок слідкуючих електроприводів. Зображення похибок за керуючою та збурювальною діями, добротність слідкуючого електроприводу.
3. Технічні вимоги та етапи проектування програмних та слідкуючих електроприводів. Види випробувань слідкуючих електроприводів, випробувальне обладнання.
4. Методика вибору електродвигуна слідкуючого електроприводу на основі використання поверхні граничних динамічних станів.
5. Методика вибору електродвигуна слідкуючого електроприводу на основі технологічного режиму роботи.
6. Математичний опис слідкуючого електроприводу при стандартних налаштуваннях на технічний оптимум. Розрахунок параметрів ланок контуру регулювання положення. Помилки при стандартних впливах.
7. Математичний опис слідкуючого електроприводу при стандартних налаштуваннях на симетричний оптимум. Розрахунок параметрів ланок контуру регулювання положення. Помилки при стандартних впливах.
8. Підвищення точності систем автоматичного керування на основі збільшення коефіцієнту підсилення та порядку астатизму.
9. Інваріантність. Застосування комбінованого керування в слідкуючих електроприводах.
10. Використання прямих коригуючих зв'язків в слідкуючих електроприводах.

11. Використання коригуючих зворотних зв'язків в слідкуючих електроприводах з пружністю.
12. Багатоканальне керування в електроприводах, регульованих по швидкості та положенню.
13. Застосування ковзного керування в регульованих та слідкуючих електроприводах.
14. Адаптивне керування в слідкуючих електроприводах. Параболічний регулятор положення.
15. Адаптивна СКЕП подачі верстату з ЧПК.
16. Система адаптивного керування електроприводом подачі важкого багатошпиндельного верстату.
17. Взаємозв'язані електроприводи. Основні поняття, різновиди, приклади та принципи керування.
18. Датчики положення слідкуючих електроприводів: класифікація, вимоги, статичні характеристики та динамічні властивості. Узгодження характеристик датчиків з подальшими пристроями. Потенціометричні і індуктивні датчики положення.
19. Електромашинні датчики положення на основі обертових трансформаторів. Принцип дії, амплітудний і фазовий режим роботи, симетрування.
20. Лінійний індуктосин. Принцип роботи, амплітудний і фазовий режими.
21. Оптичні датчики кутового і лінійного переміщення. АЦП з просторовим кодуванням. Усунення неоднозначності зчитування.
22. Імпульсні датчики положення. Енкодери. Визначення напрямку руху.
23. Засоби сполучення цифрових і аналогових систем. Інтерфейс, ЦАП і АЦП.
24. Принцип побудови та структура системи ЧПК
25. Блок введення програм
26. Контроль введення інформації
27. Блок буферної пам'яті
28. Перетворювачі кодів
29. Системи кодування вихідної інформації
30. Програмування геометричної інформації
31. Програмування технологічної інформації
32. Характеристики та застосування крокових двигунів
33. Види крокових двигунів
34. Гібридні крокові двигуни
35. Особливості режимів роботи крокових двигунів
36. Момент утримання і робочий момент крокового двигуна
37. Формування перехідних процесів в програмних та слідкуючих електроприводах

Перелік тем для підготовки до МКР

1. Зображення похибок, добротність програмних та слідкуючих електроприводів
2. Математичний опис слідкуючого електроприводу при стандартних налаштуваннях
3. Методика вибору електродвигуна слідкуючого електроприводу на основі технологічного режиму роботи.
4. Підвищення точності систем автоматичного керування на основі збільшення коефіцієнту підсилення та порядку астатизму.
5. Інваріантність. Застосування комбінованого керування в слідкуючих

електроприводах.

6. *Використання прямих коригуючих зв'язків в слідкуючих електроприводах.*
7. *Використання коригуючих зворотних зв'язків в слідкуючих електроприводах з пружністю.*
8. *Багатоканальне керування в електроприводах, регульованих по швидкості та положенню.*
9. *Застосування ковзного керування в регульованих та слідкуючих електроприводах.*
10. *Адаптивне керування в слідкуючих електроприводах. Параболічний регулятор положення.*
11. *Принцип побудови та структура системи ЧПК.*

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 доцентом кафедри автоматизації електромеханічних систем та електроприводу ФЕА Теряєвим В.І.

Ухвалено кафедрою автоматизації електромеханічних систем та електроприводу ФЕА (протокол № 10 від 21.06.2023 р.)

Погоджено Методичною комісією факультету (протокол № 10 від 21.06.2023 р.)