



Робототехніка та мехатроніка

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Перший (бакалаврський)</i>
Галузь знань	<i>14 «Електрична інженерія»</i>
Спеціальність	<i>141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»</i>
Освітня програма	<i>Електромеханічні системи автоматизації, електропривод та електромобільність</i>
Статус дисципліни	<i>Вибіркова</i>
Форма навчання	<i>Очна (денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>3 курс, весняний семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>120 годин / 4 кредити ECTS</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Залік/МКР/РГР</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. Стаценко Олексій Володимирович Лабораторні: к.т.н. доц. Стаценко Олексій Володимирович</i>
Розміщення курсу	<i>https://classroom.google.com/u/1/c/NTkxNDE3OTgxNDk3</i>

Програма навчальної дисципліни

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

Силабус навчальної дисципліни «Робототехніка та мехатроніка» 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: (K01) Здатність до абстрактного мислення, аналізу і синтезу; (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); (K20) Усвідомлення необхідності постійно розширювати власні знання про нові технології в електроенергетиці, електротехніці та електромеханіці; (K23) Здатність застосовувати пакети моделюючих програм для аналізу, синтезу та дослідження електромеханічних систем автоматизації та електроприводів.

Предмет навчальної дисципліни – методи проектування, виробництва, налагодження та експлуатації мехатронних та робототехнічних модулів і систем різного призначення.

Програмні результати навчання, на покращення яких спрямована дисципліна: (ПРО8) Обирати і застосовувати придатні методи для аналізу і синтезу електромеханічних та

електроенергетичних систем із заданими показниками; (ПР10) Знаходить 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; (ПР18) Вміти самостійно вчитися, опановувати нові знання і вдосконалювати навички роботи з сучасним обладнанням, вимірювальною технікою та прикладним програмним забезпеченням; (ПР20) Знати і розуміти принципи керування лінійними, нелінійними та дискретними системами автоматичного керування.

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

Для успішного засвоєння дисципліни студент повинен володіти знаннями та вміннями щодо використання методів синтезу та аналізу електромеханічних систем, які розглянуто в дисциплінах на попередніх курсах підготовки: «Теорія автоматичного керування», «Основи мехатроніки».

3. Зміст навчальної дисципліни

Дисципліну структурно розділено на **2 розділи**, а саме:

1. Кінематика складних електромеханічних систем.

Тема 1.1. Положення та орієнтація твердого тіла у просторі. Перетворення координат.
Тема 1.2. Кінематичний аналіз маніпуляційних систем. Зворотні задачі кінематики.

2. Динаміка та керування в складних мехатронних системах.

Тема 2.1. Динаміка та керування маніпуляційними системами.
Тема 2.2. Приклади застосування керування маніпуляційними системами.
Тема 2.3. Системи приведення в рух ланок маніпулятора. Датчики.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Основна література

1. Теорія мехатронних систем – 2: Конспект лекцій для студентів денної навчання напрямку 6.050702 «Електромеханіка»// Уклад: С.М. Пересада, С.С. Димко – К.: ФЕА НТУУ «КПІ», –2013 р. –117 с.
2. Динаміка і кінематика електромехатронних систем: Метод. вказівки до викон. модульної контрольної роботи для студ. ден. форми навч. напряму підготов. 6.050702 «Електромеханіка» / Уклад.: С.М. Пересада, С. М. Ковбаса.–К.:НТУУ «КПІ», 2007.–48с.
3. Алексієв В.О. Мехатроніка транспортних засобів та систем: Навчальний посібник / В.О. Алексієв, В.П. Волков, В.І. Калмиков. – Харків: ХНАДУ, 2003. – 225 с.
4. H. Asada, I. E. Slotine Robot analysis and control, J. Wiley, New York, 1985.
5. B.Siciliano, L.Sciavicco, L.Villani, G.Oriolo, Robotics. Modelling, Planning and Control Springer-Verlag London 2010.
6. Сучасні електромехатронні комплекси і системи : навч. посібник / Т. П. Павленко, В. М. Шавкун, О. С. Козлова, Н. П. Лукашова ; Харків. нац. ун-т міськ. Госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. – 116 с.

Додаткові:

7. Справочник по промисловій робототехніке: в 2-х кн./ под ред. Ш. Кофа; Пер. с англ. – Машиностроение, 1989 г.

8. Теорія адаптивного та робастного керування: курсова робота [Електронний ресурс]: навчальний посібник для студ. спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: С.М. Пересада, С.М. Ковбаса, Є.О. Ніконенко – Електронні текстові дані (1 файл: 3,4 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 55 с.

Навчальний контент

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	Кінематика складних електромеханічних систем. Основні положення кінематики Література: [6], стор. 70-73.
2	Положення та орієнтація твердого тіла у просторі. Література: [6], стор. 70-73.
3	Перетворення координат. Матриці направляючих косинусів. Типова форма матриць направляючих косинусів при обертанні відносно осей систем координат. Перетворення координат. Приклади. Література: [6], стор. 73-76.
4	Перетворення в однорідних координатах. Вектори та матриці при однорідному перетворенні координат. Зворотне однорідне перетворення. Література: [6], стор. 76-80
5	Застосування однорідного перетворення для кінематичного аналізу маніпуляторів. Кінематичні моделі маніпулятора Література: [6], стор. 80-84
6	Кінематичний аналіз маніпуляційних систем. Зворотні задачі кінематики. Метод Денавіта-Хартенберга. Література: [6], стор. 84-88.
7	Застосування методу Денавіта-Хартенберга. Література: [6], стор. 88-92.
8	Кінематика типових кінематичних схем. Триланковий маніпулятор. Сферичний маніпулятор. Стендфорський маніпулятор. Література: [7], стор. 68-77.
9	Пряма задача кінематики. Формулювання та отримання розв'язку прямої задачі кінематики для багатоланкового маніпулятора з використанням методу Денавіта-Хартенберга. Література: [6], стор. 92-95.
10	Обернена задача кінематики. Загальна постановка вирішення зворотної задачі кінематики. Методи вирішення зворотної задачі кінематики Література: [6], стор. 95-99.
11	Вирішення оберненої задачі кінематики для триланкового маніпулятора. Література: стор. 91-94

12	<i>Обернена швидкісна задача. Диференційний рух, рівняння швидкісного руху. Література: [6] стор. 99-102.</i>
13	<i>Розрахунок Якобіану для типових маніпуляційних структур. Література: [7], стор. 113-116.</i>
14	<i>Динамічна модель дволанкового маніпулятора. Література: [6], стор. 103-106.</i>
15	<i>Динамічна модель дволанкового декартового маніпулятора. Динамічна модель маніпулятора, що має паралелограмну структуру. Література: [7], 264-265, 277-280</i>
16	<i>Алгоритм відпрацювання узагальнених координат маніпулятора. Синтез регулятора струмів. Структурна схема алгоритму відпрацювання узагальнених координат маніпулятора. Література: [6], стор. 106-110.</i>
17	<i>Приклади застосування керування маніпуляційними системами. Система автоматичного керування дволанковим маніпулятором з приводними двигунами постійного струму. Алгоритмізація траєкторії руху. Література: [6], стор. 110-115.</i>
18	<i>Пряма та обернена задачі кінематики. Література: [6], стор. 115-118.</i>

Лабораторні роботи

№ з/п	<i>Короткий зміст лабораторної роботи</i>
1	<p style="text-align: center;"><i>Дослідження статичних та динамічних характеристик системи керування швидкістю двигуна постійного струму з незалежним (Лабораторна робота №1)</i></p> <p>Мета роботи – ознайомитися з установкою, провести експериментальні дослідження системи керування швидкістю двигуна постійного струму (ДПС), а також підтвердити результати засобами моделювання.</p> <p>Програма проведення і опрацювання результатів досліджень:</p> <p>1. Ознайомитись з лабораторною установкою, приладами контролю та керування, алгоритмами керування, що досліджуються. Усвідомити призначення основних функціональних блоків системи. 2. У відповідності до варіанту завдання, зняти статичні характеристики системи керування: - при розімкненому алгоритмі керування; - при замкненому алгоритмі керування з П–регулятором швидкості; - при замкненому алгоритмі керування з ПІ–регулятором швидкості. 3. У відповідності до варіанту завдання, зняти перехідні процеси заданої швидкості, похибки відпрацювання швидкості, заданого струму, похибку регулювання струму, заданої напруги, напруги в ланці постійного струму: - при розімкненому алгоритмі керування; - при замкненому алгоритмі керування з П–регулятором швидкості; - при замкненому алгоритмі керування з ПІ–регулятором швидкості. 4. Розрахувати статичні електромеханічні характеристики системи керування та порівняти їх з характеристиками отриманими експериментальним шляхом. 5. Виконати математичне моделювання системи, що досліджується та порівняти отримані графіки з результатами експериментальних досліджень. 6. Зробити висновки по роботі. 7. Оформити звіт.</p>

2	<p style="text-align: center;"><i>Дослідження статичних та динамічних характеристик системи частотного керування асинхронним двигуном (Лабораторна робота №2)</i></p> <p>Мета роботи – дослідження динамічних та статичних характеристик системи частотного керування кутовою швидкістю АД в електромеханічній системі з перетворювачем <i>NORD</i>.</p> <p>Програма проведення і опрацювання результатів досліджень:</p> <p>1. Ознайомитись з лабораторною установкою, приладами контролю і керування, алгоритмами, які досліджуються. 2. Виконати початкові налаштування приводу для роботи з алгоритмами частотного керування. 3. Зняти статичні характеристики при роботі з алгоритмом частотного керування без компенсації динамічного буста для 5 значень заданої частоти, які визначаються викладачем. 4. Зняти статичні характеристики при роботі з алгоритмом частотного керування для трьох значень параметру компенсації динамічного буста для 5 значень заданої частоти, які визначаються викладачем. 5. Зняти статичні характеристики при роботі з алгоритмом частотного керування для трьох значень параметру компенсації ковзання для 5 значень заданої частоти, які визначаються викладачем. 6. Виконати дослідження динамічних характеристик алгоритму частотного керування для рушійного та генераторного моментів навантаження при відключеній компенсації ковзання для 3 значень вихідної частоти. 7. Повторити дослідження в п.1.6 для 3-х значень параметра компенсації ковзання. 8. Зробити висновки по роботі.</p>
3	<p style="text-align: center;"><i>Налаштування та експериментальне дослідження сервосистеми керування швидкістю (Лабораторна робота №3)</i></p> <p>Мета роботи – ознайомитись з методикою налаштування та експериментального дослідження систем керування швидкістю на основі сервоприводу <i>Mitsubishi MR-J3-10B</i>. Навчитися програмувати режими роботи сервоприводу, отримувати графіки відпрацювання траєкторії заданої швидкості та будувати амплітудо-фазо частотні характеристики.</p> <p>Програма проведення досліджень:</p> <p>1. Ознайомитись з параметрами для налаштування сервоприводу, визначити параметри які необхідно змінити для налаштування ПІ регулятора швидкості. 2. Запрограмувати задану траєкторію кутової швидкості. 3. Визначити динамічну помилку відпрацювання кутової швидкості при пуску і зупинці, середнє значення швидкості при усталеному русі, момент та заданий струм двигуна при пуску і усталеному русі, середнє значення напруги в ланці постійного струму підчас пуску, зупинки і усталеного руху для двох заданих смуг пропускання. 4. Для двох заданих смуг пропускання отримати і зберегти графіки: реальна і задана кутова швидкість, реальна кутова швидкість і момент, та реальна кутова швидкість і заданий струм при відпрацюванні всієї траєкторії та окремо для відрізка розгону. 5. Виконати аналіз сервоприводу за допомогою АФХ розімкненої та замкненої системи. 6. Провести порівняльний аналіз результатів отриманих для двох різних смуг пропускання. 7. Зробити висновки по роботі. 8. Оформити звіт.</p>
4	<p style="text-align: center;"><i>Дослідження статичних та динамічних характеристик електроприводу постійного струму на основі перетворювача SIMOREG (Лабораторна робота №4)</i></p> <p>Мета роботи – вивчити принцип роботи тиристорного перетворювача постійного струму <i>Simoreg</i> фірми <i>Siemens</i>. Зняти регульовальну характеристику перетворювача.</p>

<p><i>Оптимізувати роботу системи регулювання, вивчити особливості контуру струму, дослідити його швидкодію. Дослідити реакцію контуру швидкості на різні види керуючого та збурюючого впливу, з використанням пропорційного й пропорційно-інтегрального регулятора швидкості.</i></p> <p>Програма проведення досліджень:</p> <p><i>1. Отримати допуск до виконання роботи. Ознайомитися з лабораторною установкою та її схемами, виконати під'єднання перетворювача (досліджуваної машин) до комп'ютера та встановити початкові налаштування. 2. Зняти регульовальну характеристику електроприводу. 3. Дослідити випрямний та інверторний режимів роботи перетворювача постійного струму. 4. Оптимізувати систему керування: 1-ий етап - оптимізація контуру струму; 2-ий етап - оптимізація контуру швидкості; 3-ій етап – зняття залежності швидкості від струму збудження (для режиму роботи з ослабленням потоку). 4. Дослідження швидкодії контуру струму. 5. Дослідження контуру швидкості: - дослідження реакції контуру швидкості на стрибок завдання; - дослідження реакції контуру швидкості з ПІ-регулятором на лінійно-зростаючий керуючий вплив; - дослідження реакції контуру швидкості з ПІ-регулятором на кидок навантаження (стрибокподібний збурюючий вплив); - дослідження реакції контуру швидкості з П-регулятором на лінійно-зростаючий керуючий вплив; - дослідження реакції контуру швидкості з П-регулятором на стрибок навантаження (стрибокподібний збурюючий вплив). 6. Зробити висновки по роботі. 7. Оформити звіт.</i></p>

6. Самостійна робота студента

<i>№з/п</i>	<i>Вид самостійної роботи</i>	<i>Кількість годин СРС</i>
1	<i>Підготовка до аудиторних занять</i>	8
2	<i>Проведення розрахунків за первинними даними, отриманими на лабораторних заняттях</i>	6
3	<i>Підготовка РГР</i>	15
4	<i>Підготовка до МКР</i>	2
5	<i>Підготовка до заліку</i>	5

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 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. Перескладання 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 «Робототехніка та мехатроніка»;

• 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.

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

Поточний контроль: захист лабораторних робіт, МКР, РГР.

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

Семестровий контроль: залік.

Умови допуску до семестрового контролю: виконання всіх лабораторних робіт та РГР.

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

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

- виконання та захист чотирьох лабораторних робіт;
- виконання модульної контрольної роботи (МКР);
- виконання та здачу розрахунково-графічної роботи (РГР).

Лабораторні роботи	МКР	РГР	R
40	30	30	100

Виконання та захист лабораторних робіт

Ваговий бал – 10.

Максимальна кількість балів за всі лабораторні роботи дорівнює $10 * 4 = 40$ балів.

Критерії оцінювання

- повністю виконана та захищена робота – 10 балів;
- виконана робота, але при захисті були допущені помилки – 7-9 балів;
- виконана робота, але не захищена – 4-6 балів;
- не виконана робота – 0 балів.

Модульна контрольна робота

Ваговий бал МКР – 30.

Максимальний бал за МКР – 30.

Критерії оцінювання

- «відмінно», повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) – 28 – 30 балів;
- «добре», достатньо повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації), або повна відповідь з незначними неточностями – 23 – 27 балів;
- «задовільно», неповна відповідь (не менше 60% потрібної інформації) та незначні помилки – 15 – 22 балів;
- «незадовільно», незадовільна відповідь (не відповідає вимогам на 3 бали) або відсутність під час проведення роботи – 0 балів.

Розрахунково-графічна робота

Розрахунково-графічна робота передбачає виконання індивідуального завдання за варіантами. До складу РГР входять завдання щодо розв'язку прямої та оберненої задачі кінематики для маніпулятора заданого типу.

РГР оцінюється в 30 балів:

- «відмінно» – правильно виконана РГР та захищена без помилок – 30 балів;
- «добре» – РГР виконана та захищена з незначними помилками – 24-29 балів;
- «задовільно» – значні помилки при виконанні та захисті РГР – 15-23 балів;
- «незадовільно» – РГР не виконана та не здана – 0 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.

Семестровий контроль:

Форма семестрового контролю – залік. Сума рейтингових балів, отриманих студентом протягом семестру, переводиться до підсумкової оцінки згідно з таблицею. Якщо сума балів менша за 60, студент виконує залікову контрольну роботу. Студент, який у семестрі отримав більше 60 балів, може взяти участь у заліковій контрольній роботі. У цьому разі бали, отримані ним на заліковій контрольній роботі, є остаточними.

Залікова контрольна робота оцінюється із 100 балів. Контрольне завдання цієї роботи складається з трьох запитань (два теоретичних запитання і одне практичне завдання) з переліку, що наданий у додатку до Силабусу.

Теоретичні запитання оцінюються з 30 балів, а практичне з 40 балів за такими критеріями:

Система оцінювання теоретичних запитань

- «відмінно», повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) – 30- 28 балів;
- «добре», достатньо повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації, або незначні неточності) – 26-22 балів;
- «задовільно», неповна відповідь (не менше 60% потрібної інформації та деякі помилки) – 20-18 балів;
- «незадовільно», незадовільна відповідь – 0 балів.

Система оцінювання практичного запитання

- «відмінно», повне, безпомилкове розв'язування завдання – 40-36 балів;
- «добре», повне розв'язування завдання із несуттєвими неточностями – 34-30 балів;
- «задовільно», завдання виконане з певними недоліками – 28-24 балів;

– «незадовільно», завдання не виконано.

9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

Перелік питань, які виносяться на залік з дисципліни «Основи мехатроніки», наведений в додатку до Силабусу).

За умови змін в режимі роботи Університету в даній робочій програмі можливі зміни, що стосуються особливостей проведення планових занять, використовуваних видів контролю та оцінювання результатів навчання.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено старшим викладачем кафедри автоматизації електромеханічних систем та електроприводу ФЕА, к.т.н. Димком С. С.

Ухвалено кафедрою автоматизації електромеханічних систем та електроприводу ФЕА (протокол № 11 від 15.06.2022 р.)

Погоджено Методичною комісією факультету (протокол № 10 від 16.06.2022 р.)