



Теорія автоматичного керування-2. Нелінійні системи та оптимальне керування

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Перший (бакалаврський)</i>
Галузь знань	<i>14 Електрична інженерія¹</i>
Спеціальність	<i>141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка</i>
Освітня програма	<i>Інжиніринг автоматизованих електротехнічних комплексів</i>
Статус дисципліни	<i>Обов'язкова</i>
Форма навчання	<i>очна(денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>3 курс, осінній семестр;</i>
Обсяг дисципліни	<i>6.5 кредитів 195 годин</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Іспит</i>
Розклад занять	<i>Пт. 10:25; 12:20; 14:15.</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: <i>асистент, Мугенов Данііл Джалільович, тел. 063-519-56-58, email: danila8902@gmail.com²</i> Практичні / Семінарські: <i>асистент, Мугенов Данііл Джалільович, тел. 063-519-56-58, email: danila8902@gmail.com</i>
Розміщення курсу	https://classroom.google.com/u/0/c/MjEzNzQ3NzY3NjE5

Програма навчальної дисципліни

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

Навчальна дисципліна «Теорія автоматичного керування – 2. Нелінійні системи та оптимальне керування» відноситься до циклу дисциплін професійної та практичної підготовки в межах нормативної частини навчального плану підготовки спеціалістів з освітньо-кваліфікаційним рівнем бакалавр за спеціальністю 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». Питання, які розглядаються в навчальній дисципліні – це, передусім, питання математичного моделювання окремих фізичних об'єктів з урахуванням їх нелінійних властивостей, а також моделювання систем до складу яких входять ці об'єкти (нелінійних систем). Крім того, в дисципліні подаються питання дискретних систем автоматичного керування, а також розглядаються конструкції та характеристики основних вимірювально-інформаційних електромеханічних елементів систем автоматики (датчиків).

¹ В полях Галузь знань/Спеціальність/Освітня програма:

Для дисциплін професійно-практичної підготовки зазначається інформація відповідно до навчального плану. Для соціально-гуманітарних дисциплін вказується перелік галузей, спеціальностей, або «для всіх».

² Електронна пошта викладача або інші контакти для зворотного зв'язку, можливо зазначити прийомні години або години для комунікації у разі зазначення контактних телефонів. Для силабусу дисципліни, яку викладає багато викладачів (наприклад, історія, філософія тощо) можна зазначити сторінку сайту де представлено контактну інформацію викладачів для відповідних груп, факультетів, інститутів.

Метою навчальної дисципліни є формування у студентів здатностей: підбирати елементи для систем автоматичного керування з урахуванням конкретних умов їх експлуатації; аналізувати фізичні явища та процеси в нелінійних та дискретних САК; виконувати моделювання нелінійних та дискретних САК; аналізувати якість нелінійних та дискретних САК.

Предметом навчальної дисципліни є нелінійні системи та оптимальне керування.

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми студенти після засвоєння навчальної дисципліни мають продемонструвати такі результати навчання:

знання щодо:

- принципів організації нелінійних та дискретних САК;
- методів аналізу та синтезу нелінійних та дискретних САК;
- методам моделювання нелінійних та дискретних САК.

уміння:

- оцінювати якість нелінійних та дискретних САК на основі її математичної моделі та типових алгоритмів оцінки показників якості системи;
- створювати математичні моделі нелінійних та дискретних САК, адекватні завданням;
- моделювати нелінійні та дискретні САК із застосуванням сучасних комп'ютерних технологій.

досвід:

- роботи з електромеханічними системами автоматичного керування;
- практичного застосування методів їх дослідження на основі чисельних експериментів;
- роботи з сучасними програмно-обчислювальними комплексами для аналізу та синтезу систем автоматичного керування.

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

Навчальна дисципліна «Теорія автоматичного керування – 2. Нелінійні системи та оптимальне керування» викладається на основі знань та умінь, одержаних студентами під час вивчення кредитних модулів таких дисциплін як: «Теорія автоматичного керування-1» та дисципліни «Електричні машини систем автоматики».

Успішне засвоєння програми кредитного модуля дає можливість студенту виявити свої навички та здібності, закласти фундамент як для подальшого освоєння спеціальних дисциплін на старших курсах, так і майбутньої діяльності.

3. Зміст навчальної дисципліни

Навчальна дисципліна «Теорія автоматичного керування – 2. Нелінійні системи та оптимальне керування» складається з 2 розділів:

- Розділ 1. Синтез корегувальних пристроїв САК:

Тема 1.1. Синтез САК методом логарифмічних амплітудних характеристик.

- Розділ 2. Нелінійні системи автоматичного керування:

Тема 2.1. Нелінійні САК та їх особливості.

Тема 2.2. Точні методи дослідження нелінійних САК.

Тема 2.3. Фазові траєкторії та портрети нелінійних САК.

Тема 2.4. Дослідження динаміки релейних САК методом фазової площини.

Тема 2.5. Дослідження стійкості нелінійних систем методом Ляпунова.

Тема 2.6. Частотний критерій абсолютної стійкості нелінійних систем В.М. Попова.

Тема 2.7. Метод гармонічної лінеаризації.

Тема 2.8. Алгебраїчні та частотні методи визначення автоколивань.

Тема 2.9. Нелінійні корегувальні ланки.

Тема 2.10. Компенсування шкідливого впливу нелінійностей.

4. Навчальні матеріали та ресурси

4.1. Базова література:

1. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического управления. – 4-е изд. – СПб.: Изд-во «Профессия», 2003. – 752 с. – ISBN 5-93913-035-6.
2. Зайцев Г.Ф. та ін. Теорія автоматичного управління / Г.Ф. Зайцев, В.К. Стеклов, О.І. Бріцький; За ред. Г.Ф. Зайцева. – К.: Техніка, 2002. – 688 с. ISBN 966-575-044-5.
3. Михайлов В.С. Теория управления. – К.: Вища шк, 1988. – 312 с. – ISBN 5-11-001791-3.
4. Попович М.Г., Ковальчук О.В. Теорія автоматичного керування: Підручник. – 2-ге вид. – К.: Либідь, 2007. – 656 с. – ISBN 978-966-06-0447-6.
5. Виглеб Г. Датчики: Пер. с нем. – М.: Мир, 1989. – 196 с. – ISBN 5-03-000634-6.
6. Теорія автоматичного керування. Використання візуального моделювання для аналізу систем автоматичного керування: методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни для студ. електромеханічних спец. / Уклад.: Ю.А. Гайденко, В.В. Чумак. – К.: НТУУ «КПІ», 2008. – 68 с.
7. Босак А.В., Кулаковський Л.Я. Теорія автоматичного керування: нелінійні системи та оптимальне керування. – Лабораторний практикум. – Київ.: Електронне мережне навчальне видання, 2019. – 60 с.

4.2. Допоміжна література:

1. Мееров М.В. Введение в динамику автоматического регулирования электрических машин. М.: АН СССР, 1956. – 418 с.
2. Попов Е.П. Теория нелинейных систем автоматического регулирования и управления: Учеб пособ. – 2-е изд. – М.: Наука, 1988. – 256 с. – ISBN 5-02-013903-3.
3. Турчин А.М. Электрические измерения неэлектрических величин. – М.: Госэнергоиздат, 1954. – 292 с.

4.3. Інформаційні ресурси

- <http://www.library.kpi.ua/> – Веб-сайт Бібліотеки НТУУ «КПІ»
<http://www.exponenta.ru> – Освітній математичний веб-сайт
<https://auek.kpi.ua> – Веб-сайт кафедри автоматизації управління електротехнічними комплексами

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Тиж-день	Зміст навчальної роботи	Рекомендований час СРС
1-2	Лекція 1. Тема 1.1. Синтез САК методом логарифмічних амплітудних характеристик.	2
	Практичне заняття 1. Принцип побудови бажаної ЛАХ.	2
	Лекція 2. Спрощена побудова бажаної ЛАХ.	2
	Практичне заняття 2. Синтез послідовної і паралельної коригувальних ланок	2
3-4	Лекція 3. Нелінійні САК та їх особливості.	2
	Практичне заняття 3. Типові нелінійності САК.	2
	Лекція 4. Точні методи дослідження нелінійних САК.	2
	Практичне заняття 4. Фазові траєкторії на площині.	2
5-6	Лекція 5. Фазові траєкторії та портрети нелінійних САК.	2
	Практичне заняття 5. Особливі точки та особливі лінії.	2
	Лабораторна робота: вступне заняття.	1
	Лекція 6. Метод ізоклін. Метод точкового перетворення.	2

	Практичне заняття 6. Метод ізоклін. Метод точкового перетворення.	2
7-8	Лекція 7. Дослідження динаміки релейних САК методом фазової площини.	2
	Практичне заняття 7. Релейна система стабілізації зі стійким положенням рівноваги.	2
	Лабораторна робота 1. Дослідження динамічних характеристик системи підлеглого регулювання координат	1
	Лекція 8. Дослідження стійкості нелінійних систем методом Ляпунова.	2
	Практичне заняття 8. Теорема Ляпунова про стійкість.	2
9-10	Лекція 9. Теорема Ляпунова про нестійкість.	2
	Практичне заняття 9. Метод Ляпунова-Лур'є.	2
	Лекція 10. Частотний критерій абсолютної стійкості нелінійних систем В.М. Попова.	2
	Практичне заняття 10. Критерій Попова для систем із стійкою лінійною частиною.	2
	Лабораторна робота 2. Дослідження якості роботи нелінійної системи автоматичного керування	1
	Модульна контрольна робота 1.	2.5
11-12	Лекція 11. Метод гармонічної лінеаризації.	2
	Практичне заняття 11. Сутність методу гармонічної лінеаризації.	2
	Лабораторна робота 3. Дослідження нелінійної системи другого порядку з використанням фазових траєкторій	1
	Лекція 12. Обчислення коефіцієнтів гармонічної лінеаризації.	2
	Практичне заняття 12. Релейна характеристика. Релейна характеристика із зоною нечутливості. Нелінійність типу насичення. Релейна характеристика з гістерезисом.	2
13-14	Лекція 13. Алгебраїчний та частотний методи визначення автоколивань.	2
	Практичне заняття 13. Алгебраїчний метод дослідження автоколивань – метод Є.П. Попова.	2
	Лабораторна робота 4. Дослідження абсолютної стійкості нелінійної системи автоматичного керування за методом Попова	1
	Лекція 14. Приклади дослідження нелінійних систем методом Є.П. Попова.	2
	Практичне заняття 14. Визначення параметрів періодичного розв'язку. Стійкість періодичного розв'язку.	2
15-16	Лекція 15. Частотний метод дослідження автоколивань – метод Л.С. Гольдфарба.	2
	Практичне заняття 15. Визначення автоколивань. Дослідження стійкості автоколивань.	2
	Лабораторна робота 5. Дослідження автоколивань в нелінійній системі автоматичного керування	1
	Лекція 16. Нелінійні коригувальні ланки.	2
	Практичне заняття 16. Нелінійне змінювання коефіцієнта передачі системи.	2
	Модульна контрольна робота 2.	2.5
17-18	Лекція 17. Компенсування шкідливого впливу нелінійностей.	2
	Практичне заняття 17. Застосування компенсувальних нелінійностей.	2
	Лабораторна робота 6. Синтез цифрових регуляторів	1

	Лекція 18. Вібраційне компенсування нелінійностей.	2
	Практичне заняття 18. Вібраційне компенсування нелінійностей.	2

6. Самостійна робота студента

№ з/п	Назви тем і питань, що виносяться на самостійне опрацювання та посилання на навчальну літературу	Кількість годин СРС
1	Тема 1.1. Побудова бажаної ЛАХ методом Солодовнікова. Література: [1-6]	4
2	Тема 1.1. Синтез паралельних коригувальних ланок за уточненим методом. Література: [1-6]	4
3	Тема 2.1. Принципи класифікації нелінійних ланок. Література: [1-6]	4
4	Тема 2.2. Аналітичне описання нелінійної статичної характеристики із зоною насичення та гістерезисом. Література: [1-6]	4
5	Тема 2.3. Властивості та математичне описання неоднозначної нелінійності типу упор. Література: [1-6]	4
6	Тема 2.3. Коригування релейних систем шляхом утворення ковзних режимів. Література: [1-6]	4
7	Тема 2.4. Математичне описання нелінійної системи стеження з люфтом у механічній передачі. Література: [1-6]	7
8	Тема 2.5. Стійкість нелінійних систем та функції Ляпунова. Література: [1-6]	4
9	Тема 2.5. Поняття про метод Ляпунова-Лур'є. Література: [1-6]	6
10	Тема 2.6. Застосування критерію Попова у випадку нестационарних нелінійних характеристик. Література: [1-6]	4
11	Тема 2.7. Вихідні положення методу гармонічної лінеаризації. Література: [1-6]	4
12	Тема 2.7. Несиметричні автоколивання в нелінійних системах. Література: [1-6]	4
13	Тема 2.8. Дослідження стійкості стану рівноваги в нелінійній системі стеження. Література: [1-6]	6
14	Тема 2.8. Дослідження стійкості нелінійної САР. Література: [1-6]	4
15	Тема 2.9. Класифікація нелінійних законів автоматичного регулювання. Література: [1-6]	4
16	Тема 2.10. Статизм нелінійних систем автоматичного регулювання. Література: [1-6]	4
17	Тема 2.10. Діаграма якості Попова для оцінювання процесів керування в нелінійних САК. Література: [1-6]	4
18	Лабораторна робота 1. Дослідження динамічних характеристик системи підлеглого регулювання координат. Література: [7]	5
19	Лабораторна робота 2. Дослідження якості роботи нелінійної системи автоматичного керування. Література: [7]	5
20	Лабораторна робота 3. Дослідження нелінійної системи другого порядку з використанням фазових траєкторій. Література: [7]	5
21	Лабораторна робота 4. Дослідження абсолютної стійкості нелінійної системи автоматичного керування за методом Попова. Література: [7]	5
22	Лабораторна робота 5. Дослідження автоколивань в	5

	нелінійній системі автоматичного керування. Література: [7]	
23	Лабораторна робота 6. Синтез цифрових регуляторів. Література: [7]	5

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Політика навчальної дисципліни «Теорія автоматичного керування – 2. Нелінійні системи та оптимальне керування» заснована на політиці КПІ ім. Ігоря Сікорського.

КПІ ім. Ігоря Сікорського є вільним і автономним центром освіти, що покликаний давати адекватні відповіді на виклики сучасності, плекати й оберігати духовну свободу людини, що робить її спроможною діяти згідно з власним сумлінням; її громадянську свободу, яка є основою формування суспільно відповідальної особистості, та академічну свободу і добросовісність, що є головними рушійними чинниками наукового поступу. Внутрішня атмосфера Університету будується на засадах відкритості, прозорості, гостинності, повазі до особистості.

Вивчення навчальної дисципліни «Теорія автоматичного керування – 2. Нелінійні системи та оптимальне керування» потребує: підготовки до практичних занять; виконання індивідуального завдання згідно з навчальним планом; опрацювання рекомендованої основної та додаткової літератури.

Підготовка та участь у практичних заняттях передбачає: ознайомлення з програмою навчальної дисципліни та планами практичних занять; вивчення теоретичного матеріалу; виконання завдань, запропонованих для самостійного опрацювання.

Результатом підготовки до заняття має бути здобуття вмінь та навичок працювання з програмним забезпеченням для моделювання, імітації та аналізу динамічних систем Simulink. Відповідь здобувача повинна демонструвати ознаки самостійності виконання поставлених завдань, відсутність ознак повторюваності та плагіату.

Присутність здобувачів вищої освіти на практичних заняттях є обов'язковою. Пропущені з поважних причин заняття мають бути відпрацьовані.

Здобувач вищої освіти повинен дотримувати навчально-академічної етики та графіка навчального процесу; бути зваженим, уважним.

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

1. Рейтинг студента з кредитного модуля розраховується зі 100 балів, з них 50 балів складає стартова шкала. Стартовий рейтинг (протягом семестру) складається з балів, що студент отримує за:

- роботу на практичних заняттях (18 занять);
- роботу на лабораторних заняттях (6 лабораторних);
- написання модульної контрольної роботи.

2. Критерії нарахування балів:

2.1. Виконання практичних робіт. Ваговий бал – 1. Максимальна кількість балів на всіх практичних заняттях складає $1 \cdot 18 = 18$ балів. Розрахункове завдання складається із двох задач. Критерії оцінювання:

- вірне виконання розрахункового завдання – 1 бал;
- невірне виконання розрахункового завдання – 0 балів;
- відсутність на занятті без поважних причин – штрафний –1 бал.

2.2. Лабораторні роботи. Протягом семестру студент виконує 6 чотиригодинних лабораторних робіт (3 год вступне заняття). Ваговий бал – 4. Максимальна кількість балів за всі лабораторні роботи складає $4 \cdot 6 = 24$ бали. Критерії оцінювання:

- якісна підготовка студента до виконання лабораторної роботи, яка починається вхідним контролем теоретичних знань та наявністю належним чином оформленого протоколу – 4 бали;
- активна участь у виконанні роботи та своєчасні оброблення результатів досліджень і захист лабораторної роботи – 2-3 бали;
- відсутність на занятті без поважних причин – штрафний –1 бал.

2.3. Виконання модульної контрольної роботи. Ваговий бал – 4. Максимальна кількість балів за дві контрольні роботи дорівнює $4 \cdot 2 = 8$ балів. Критерії оцінювання:

- чіткі вичерпні відповіді з теорії та вірне розв'язання завдання – 4 бали;
- неповні та з помилками відповіді і розв'язання завдання – 2 бали;
- невірне розв'язання завдання або відсутність відповіді – 0 балів.
- відсутність на занятті без поважних причин – штрафний –1 бал.

3. Умовою задовільної атестації є значення поточного рейтингу студента не менш ніж 50% максимально можливого на час атестації. За результатами навчальної роботи за перші 4 тижні студент має набрати 25 балів. На першій атестації студент отримує «зараховано», якщо його поточний рейтинг не менше 12 балів. За результатами 8 тижнів навчання студент має набрати 50 балів. На другій атестації студент отримує зараховано, якщо його поточний рейтинг не менше 25 балів.

4. Умовою допуску до іспиту є виконання розрахункового завдання на практичних заняттях, всіх лабораторних робіт, не менше ніж одна позитивна атестація, а також стартовий рейтинг не менше 25 балів. Студенти, які мають нижчий рейтинговий бал, мають усунути причини, які призвели до цього, та підвищити свій рейтинг.

5. На іспиті студенти виконують письмову контрольну роботу. Кожне завдання містить два теоретичних питання і одне практичне завдання. Кожне теоретичне питання оцінюється у 20 балів, а практичне – 10 балів. Система оцінювання теоретичних питань:

- «відмінно», повна відповідь, не менше 90% потрібної інформації (повне, безпомилкове розв'язування завдання) – 20 балів;
- «дуже добре», достатньо повна відповідь, не менше 75% потрібної інформації або незначні неточності (повне розв'язування завдання з незначними неточностями) – 19 балів;
- «добре», достатньо повна відповідь, не менше 65% потрібної інформації або незначні неточності (повне розв'язування завдання з незначними неточностями) – 18 балів;
- «задовільно», неповна відповідь, не менше 60% потрібної інформації та деякі помилки (завдання виконане з певними недоліками) – 17 балів;
- «достатньо», неповна відповідь, менше 60% потрібної інформації та деякі помилки (завдання виконане з певними недоліками) – 16-15 балів;
- «незадовільно», відповідь не відповідає умовам до «задовільно» – 0 балів.

Система оцінювання практичного завдання (задачі):

- «відмінно», повне безпомилкове розв'язання завдання – 10-9 балів;
- «добре», повне розв'язання завдання з несуттєвими неточностями – 8-7 балів;
- «задовільно», завдання виконане із певними недоліками – 6-5 балів;
- «незадовільно», завдання не виконано.

6. Сума стартових балів та балів за екзаменаційну контрольну роботу переводиться до кінцевої оцінки згідно з таблицею:

Метод оцінювання	Кількість	Мінімальна оцінка в балах	Максимальна оцінка в балах
Практичні роботи	18	9	18
Лабораторні роботи	6	12	24
Модульна контрольна робота	2	4	8
Стартовий рейтинг	1	25	50
Іспит	1	35	50
Підсумковий рейтинг	екзамен	60	100

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

9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

Питання для іспиту з навчальної дисципліни «Теорія автоматичного керування – 2. Нелінійні системи та оптимальне керування».

1. Розкрити суть принципу розімкненого управління.
2. Розкрити суть принципу управління зі зворотнім зв'язком за вихідною змінною.
3. Розкрити суть принципу управління з компенсацією збурень.
4. Дати визначення комбінованого управління за задавальним сигналом системи. Навести приклад.
5. Дати визначення комбінованого управління за збуренням. Навести приклад.
6. Дати визначення багатозв'язковим (багатомірним) системам керування. Навести приклад схеми з паралельним ввімкненням регуляторів.
7. Визначити структури і параметри регулятора для об'єкта, що містить одну аперіодичну ланку з великою постійною часу та одну ланку з малою постійною часу.
8. Визначити структури і параметри регулятора для об'єкта, що містить одну інтегруючу ланку та одну аперіодичну ланку з малою постійною часу.
9. Визначити структури і параметри регулятора для двоконтурних систем підпорядкованого регулювання.
10. Назвати основні методи дослідження нелінійних систем.
11. Розкрити суть методу фазових траєкторій.
12. Навести приклад застосування методу фазових траєкторій для аналізу та синтезу нелінійних систем.
13. Дати визначення системам з лінійною структурою.
14. Навести приклад чисельно-аналітичного методу аналізу нелінійних систем.
15. Визначити абсолютну стійкість положення рівноваги нелінійної системи за критерієм Попова.

16. Навести приклад дослідження нелінійної системи методом гармонічної лінеаризації.
17. Визначення параметрів коефіцієнта гармонічної лінеаризації для неоднозначної нелінійності.
18. Визначення параметрів можливих автоколивань в нелінійних системах.
19. Визначення стійкості автоколивань.
20. Дати визначення імпульсним та цифровим системам управління.
21. Навести математичний опис імпульсних систем.
22. Визначити точність дискретного інтегрування при ступінчастій апроксимації.
23. Визначити точність дискретного інтегрування при ступінчастій з упередженням апроксимації.
24. Визначити точність дискретного інтегрування при кусково-лінійній апроксимації.
25. Навести приклад залежності точності регулювання від періоду дискретності.
26. Оцінка стійкості дискретної системи.
27. Дати визначення оптимальних систем управління електротехнічними комплексами.
28. Порівняти параболічну та трапецієдальну діаграми швидкості.
29. Порівняти параболічну та трикутну діаграми швидкості.
30. Розрахунок оптимального по мінімуму втрат енергії за мінімум втрат енергії режиму роботи позиційного електроприводу.
31. Побудувати структурну схему моделі, що реалізує оптимальний по мінімуму втрат режим роботи позиційного електроприводу.
32. Оптимізація електромеханічної системи за швидкодією (мінімум періоду руху).
33. Побудувати модель, яка реалізує оптимальний за швидкодією режим.
34. Дати визначення параметричній оптимізації автоматичних систем.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено: асистент кафедри автоматизації управління електротехнічними комплексами, Мугенов Даніїл Джалільович

Ухвалено: кафедрою АУЕК (протокол № 17 від 17.06.20 р.)

Погоджено: Методичною комісією факультету³ (протокол №8 від 23.06.20 р.)

³ Методичною радою університету – для загальноуніверситетських дисциплін.