



МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ ТА МЕХАТРОННИХ СИСТЕМ

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>Інжиніринг інтелектуальних електротехнічних та мехатронних комплексів</i>
Статус дисципліни	<i>Нормативна</i>
Форма навчання	<i>Очна (денна)/заочна/дистанційна/</i>
Рік підготовки, семестр	<i>4 курс, осінній семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>5,0 кредитів / 150 годин</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Іспит</i>
Розклад занять	<i>http://roz.kpi.ua/</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лектор: к.т.н., доцент Данілін Олександр Валерійович; e-mail: avdan@ukr.net; тел. +38-067-907-91-19 (09:00 – 18:00) Практичні / Лабораторні: к.т.н., доцент Данілін Олександр Валерійович; e-mail: avdan@ukr.net; тел. +38-067-907-91-19 (10:00 – 18:00)</i>
Розміщення курсу	<i>Доступний на платформі «Сікорський». Код доступу надається викладачем на першому занятті.</i>

Програма навчальної дисципліни

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

Однією з важливих проблем інжинірингу є розроблення методів дослідження сучасних електротехнічних систем та на їх основі створення автоматизованих комплексів і систем керування ними. Під час розв'язання цих задач велике значення приділяється *моделюванню*. У загальному випадку процес *моделювання* може бути представлений як вивчення деяких фізичних процесів у вигляді взаємопов'язаних етапів, кожен з яких виконує певні дії, спрямовані на побудову і подальше використання інформаційно-логічних моделей систем. Характерною особливістю даного процесу є його циклічний або інтерактивний характер, який відображає сучасні вимоги до аналізу та синтезу складних систем автоматичного керування.

Мета вивчення дисципліни – формування у студента теоретичних і практичних знань побудови моделей електромеханічних систем різної складності та створення ефективних алгоритмів управління для їх дослідження на практиці.

Програмні результати навчання та компетентності: ФК1 - Здатність вирішувати практичні задачі із застосуванням систем автоматизованого проектування і розрахунків (САПР); ФК10 - Усвідомлення необхідності постійно розширювати власні знання про нові технології в електроенергетиці, електротехніці та електромеханіці; ФК12 - Здатність забезпечувати моделювання електротехнічних та електромеханічних об'єктів і технологічних процесів виробництва з використанням стандартних пакетів і засобів автоматизації інженерних розрахунків, проводити експерименти за заданими методиками з обробкою й аналізом результатів;

ФК13 - Здатність розробляти робочу проектну й технічну документацію з перевіркою відповідності розроблювальних проектів і технічної документації стандартам, технічним умовам та іншим нормативним документам; ФК14 - Здатність вирішувати комплексні спеціалізовані задачі і практичні проблеми, пов'язані з розробкою автоматичних систем керування, оцінювати накопичений досвід; ПРН8 - Обирати і застосовувати придатні методи для аналізу і синтезу електромеханічних та електроенергетичних систем із заданими показниками; ПРН20. Застосовувати методи оптимізації при проектуванні електротехнічних та мехатронних систем та комплексів. ПРН21. Використовувати, розраховувати та досліджувати цифрові та нелінійні регулятори технологічних процесів, використовуючи сучасне електротехнічне обладнання. ПРН22. Створювати універсальні найбільш ефективні алгоритми моделювання процесів електротехнічних та мехатронних систем та проводити їх дослідження на сучасному обладнанні з сучасним програмним забезпеченням.

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

Навчальна дисципліна «Моделювання електротехнічних та мехатронних систем» викладається на основі знань та умінь, одержаних студентами під час вивчення кредитних модулів таких дисциплін як: «Фізика», «Вища математика», «Теоретичні основи електротехніки» «Теорія автоматичного керування електротехнічних комплексів та мехатронних систем», «Обчислювальна техніка та програмування» тощо.

Знання та уміння, одержані в процесі вивчення кредитного модуля «Моделювання електротехнічних та мехатронних систем», є необхідними для кожного фахівця електротехнічного профілю, які вирішують інженерні завдання у сфері електротехніки та при вивченні таких дисциплін: «Електропривод», «Автоматизований електропривод машин і установок» тощо.

3. Зміст навчальної дисципліни

Розділ 1. Основні положення дисципліни. Загальна структура електротехнічних систем

Тема 1.1. Базові поняття та основні положення

Тема 1.2. Синтез математичних моделей електротехнічних систем

Розділ 2. Перетворення Лапласа та його властивості

Тема 2.1. Перетворення Лапласа. Оригінал та зображення

Тема 2.2. Властивості. Перетворення Лапласа-Карсона

Розділ 3. Методи розв'язання диференціальних рівнянь

Тема 3.1. Чисельне інтегрування

Тема 3.2. Апроксимація функцій

Розділ 4. Реалізація математичних моделей мехатронних систем

Тема 4.1. Нелінійні елементи

Тема 4.2. Структурні схеми алгоритмів дослідження

Розділ 5. Аналітична реалізація елементів електротехнічних систем

Тема 1.1. Операційні підсилювачі постійного струму

Тема 1.2. Алгоритми автоматичного регулювання

Розділ 6. Відображення систем у безперервному просторі станів

Тема 2.1. Векторно-матрична модель безперервної системи

Тема 2.2. Метод безпосередньої декомпозиції

Розділ 7. Методи побудови структурних схем у просторі станів

Тема 3.1. Пряме, послідовне програмування

Тема 3.2. Паралельне, комбіноване програмування

Розділ 8. Загальні методи моделювання динамічних систем

Тема 4.1. Чисельно-аналітичний метод моделювання

Тема 4.2. Методи дискретного Z-перетворення

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова

1. Моделювання електромеханічних процесів і систем: Навч. посіб. / О.В. Данілін, В.М. Чермалих, П.В. Розен. – К.: НТУУ «КПІ», 2007. – 52 с.
2. Щокін В.П. Моделювання електромеханічних систем : навчальний посібник / В.П. Щокін [та ін.]. - Київ : Кондор, 2018. - 203 с.
3. Використання пакета MATLAB–Simulink для моделювання динамічних систем та пристроїв: Метод. вказівки до виконання лабораторних, розрахунково-графічних робіт, курсового та дипломного проектування для студ. спец. 7.092203 – «Електромеханічні системи автоматизації та електропривод» і 7.092204 – «Електромеханічне обладнання енергоємних виробництв» / Укладачі: О.В. Чермалих, О.В. Данілін, В.В. Кузнецов. – К.: ІВЦ «Політехніка», 2004. – 72 с.

Допоміжна

4. Лозинський А.О., Мороз В.І., Паранчук Я.С. Розв'язання задач електромеханіки в середовищах пакетів MathCAD і MATLAB: Навчальний посібник. – Львів: Видавництво Державного університету «Львівська політехніка», 2000. – 166 с.
5. Козбур І.Р. Моделювання систем керування в пакеті MATLAB SIMULINK, методичні вказівки до виконання лабораторної роботи по курсу «Комп'ютерні методи дослідження систем автоматичного управління», для студентів 4 курсу спеціальності 6.050201 «Системна інженерія» / укл. : І.Р. Козбур , Г.В. Козбур , Р.І. Михайлишин. – Тернопіль : ТНТУ, 2019. - 23 с. <http://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/28056>
6. Modeling of electrical and mechatronic systems. Educational edition [Electronic resource] : tutorial for bachelor's degree programs for an educational program "Engineering of Intelligent Electrotechnical and Mechatronic Complexes" / O. V. Danilin, A. V. Bosak, V. O. Bronytskyi, L. V. Toropova ; Igor Sikorsky Kiev Polytechnic Institute. – Electronic text data (1 file: 1,27 MB). – Kyiv: Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, 2021. – 55 p. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/47291>
7. Гоголюк П. Ф. Теорія автоматичного керування : навч. посіб. / П.Ф. Гоголюк, Т.М. Гречин ; Мін-во освіти і науки, молоді та спорту України, Нац. ун-т "Львівська політехніка". - Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2012. - 279 с.

Літературу, бібліографія якої подана із посиланням, можна знайти в інтернеті. Літературу, бібліографія якої не містить посилання, можна знайти в бібліотеці КПІ ім. Ігоря Сікорського.

Обов'язковим для прочитання є окремі розділи базової літератури [1]-[3]. Розділи базової літератури, що є обов'язковими для прочитання, а також зв'язок цих ресурсів з конкретними темами дисципліни наводиться нижче, в методиці опанування навчальної дисципліни. Усі інші літературні джерела є факультативними, з ними рекомендується ознайомитись

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Загальний методичний підхід до викладання навчальної дисципліни визначається як комунікативно-когнітивний та професійно орієнтований, згідно з яким у центрі освітнього процесу знаходиться студент – суб'єкт навчання. Методика викладання дисципліни поєднує наочні методи навчання з поясненням. Викладання проводиться у формі лекцій, практичних та лабораторних занять у вигляді комп'ютерного практикуму.

Лекційні заняття

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (посилання на літературу)
1	Назва теми лекції: Вступ до дисципліни Перелік основних питань: Основні поняття моделювання (фізичне та математичне моделювання, об'єктно-орієнтовний принцип, система, процес, параметри, властивості,

	стан, характеристики тощо). Література: [2, 4]
2	Назва теми лекції: Імітаційне, об'єктно-орієнтоване моделювання Перелік основних питань: Методика побудови моделі-імітатора. Структурна схема узагальненої електромеханічної системи. Основні блоки та модулі системи. Векторно-матрична модель ЕТС. Детерміновані та недетерміновані моделі. Математична модель "чорної скриньки" Література: [1, 7]
3	Назва теми лекції: Побудова математичних моделей технічних систем Перелік основних питань: Гідравлічний привод та електродвигун постійного струму незалежного збудження. Отримання диференціальних рівнянь систем, структурних схем та передавальних функцій. Література: [1, 6]
4	Назва теми лекції: Побудова математичних моделей технічних систем Перелік основних питань: Побудова математичних моделей технічних систем різної фізичної природи. Пружна механічна система та електричне коло з котушкою індуктивності, резистором і конденсатором. Отримання диференціальних рівнянь систем, структурних схем та передавальних функцій Література: [2, 5]
5	Назва теми заняття: Основи поняття та властивості перетворення Лапласа Перелік основних питань: Поняття оригіналу та зображення. Докази основних властивостей перетворення Лапласа. Перетворення Лапласа-Карсона. Література: [3, 6]
6	Назва теми заняття: Загальна методика розв'язку диференціальних рівнянь Перелік основних питань: Математична сутність операторного методу та методу Рунге-Кутта першого порядку. Література: [3, 7]
7	Назва теми лекції: Апроксимація функцій Перелік основних питань: Поняття наближаючої функції. Задача інтерполявання та апроксимації функції. Методи апроксимації. Ступінчаста апроксимація, Ступінчаста з упередженням апроксимація. Кусково-лінійна апроксимація. Чисельне інтегрування диференціальних рівнянь Література: [1, 4]
8	Назва теми лекції: Реалізація елементів електротехнічних систем. Перелік основних питань: Принцип суперпозиції. Формування моделей за правилами комбінованого регулювання. Зображення опорів основних елементів. Послідовне та паралельне з'єднання ланок. Моделювання сумуючого пристрою. Передавальна функція операційного підсилювача. Література: [1, 3].
9	Назва теми лекції: Основні алгоритми автоматичного регулювання Перелік основних питань: Пропорційне, пропорційно-інтегральне та диференціальне регулювання. Основні математичні залежності та передавальні функції відповідних ланок. Література: [2, 7].
10	Назва теми лекції: ПІД-регулятор в системах автоматичного регулювання Перелік основних питань: Передавальні функції та принципові схеми різних типів

	ПД-регулятора. Література: [3, 4]
11	Назва теми лекції: Реалізація нелінійних елементів. Перелік основних питань: Аналітичний опис та побудова структурних схем алгоритмів елементів "релейного" типу Використання середовища MATLAB для інтерактивного моделювання нелінійних елементів Література: [2, 6].
12	Назва теми лекції: Реалізація нелінійних елементів та операції диференціювання. Перелік основних питань: Аналітичний опис та побудова структурних схем алгоритмів елемента з "петлею Гістерезисну". Використання середовища MATLAB для інтерактивного моделювання нелінійних елементів. Реалізація операції диференціювання. Література: [1, 3].
13	Назва теми лекції: Метод безпосередньої декомпозиції. Перелік основних питань: Основні математичні залежності методу безпосередньої декомпозиції двома способами, складання відповідних структурних схем та діаграми стану лінійної системи. Література: [3, 6].
14	Назва теми лекції: Побудова структурних схем в просторі станів Перелік основних питань: Метод простору станів, змінні стану. Пряме та послідовне програмування. Отримання аналітичних виразів та створення відповідних алгоритмів математичних моделей Література: [2, 5].
15	Назва теми лекції: Побудова структурних схем в просторі станів Перелік основних питань: Метод простору станів, змінні стану. Паралельне та змішане (комбіноване) програмування. Отримання аналітичних виразів та створення відповідних алгоритмів математичних моделей Література: [3, 4].
16	Назва теми лекції: Чисельно-аналітичний метод комп'ютерного моделювання Перелік основних питань: Залежність якості процесу від вибору періоду дискретизації (шагу інтегрування). Отримання математичних залежностей для систем з нескінченним ланцюгом інтеграторів. Побудова структурної схеми та алгоритму комп'ютерного моделювання нелінійної системи чисельно-аналітичним методом Література: [1, 6].
17	Назва теми лекції: Метод Z-перетворення. Перелік основних питань: Дискретне перетворення Лапласа. Основні математичні залежності. Оператори дискретного інтегрування. Перехід від безперервної системи до дискретної. Література: [3, 7].
18	Назва теми лекції: Математичне моделювання за допомогою Z- перетворення Перелік основних питань: Побудова структурної схеми та алгоритму комп'ютерного моделювання нелінійної системи за допомогою Z- перетворення Література: [2, 4].

Практичні заняття (комп'ютерний практикум)

Основним завданням циклу практичних занять є закріплення теоретичних положень дисципліни і набуття умінь їх практичного застосування шляхом виконання певних відповідно сформульованих завдань за допомогою спеціальних комп'ютерних програм.

№ з/п	Назва теми практичних занять та перелік основних питань (посилання на літературу)
1	Назва теми заняття: Синтез математичних моделей технічних систем різної фізичної природи Перелік основних питань: Складання аналітичного опису, диференціальних рівнянь та структурних схем систем гідравлічного приводу, електродвигуна постійного струму, пружної механічної системи та електричного кола. Література: [1, 5]
2	Назва теми заняття: Основи поняття та властивості перетворення Лапласа Перелік основних питань: Поняття оригіналу та зображення. Докази основних властивостей перетворення Лапласа. Перетворення Лапласа-Карсона. Література: [3, 6]
3	Назва теми заняття: Загальна методика розв'язку диференціальних рівнянь Перелік основних питань: Математична сутність операторного методу та методу Рунге-Кутта. Література: [2, 4]
4	Назва теми заняття: Чисельне інтегрування. Апроксимація функцій Перелік основних питань: Геометрична сутність ступінчастої, ступінчастої з упередженням та кусково-лінійної апроксимації. Викладення основних математичних залежностей для інтеграторів другого порядку. Література: [1, 5]
5	Назва теми заняття: Реалізація нелінійних елементів та операції диференціювання. Перелік основних питань: Складання аналітичних залежностей та структурних схем алгоритму дослідження нелінійних елементів релейного типу та петлі Гістерезису. Математичний опис операції диференціювання. Література: [2, 7]
6	Назва теми заняття: Алгоритми автоматичного регулювання. Перелік основних питань: Розгляд основних характеристик алгоритмів регулювання. Відображення принципів та структурних схем, складання передавальних функцій для пропорційного, інтегрального, диференціального та ПІД-регулювання Література: [1, 3]
7	Назва теми заняття: Метод простору станів. Побудова структурних схем. Перелік основних питань: Основні принципи побудови структурних схем у просторі станів. Метод безпосередньої декомпозиції. Складання структурних схем методом прямого, послідовного та паралельного програмування. Література: [2, 3]
8	Назва теми заняття: Чисельно-аналітичний метод моделювання систем. Перелік основних питань: Складання структурної схеми алгоритму комп'ютерного моделювання нелінійної динамічної системи. Література: [1, 7].

9	Назва теми заняття: Методи дискретного Z-перетворення Перелік основних питань: Складання структурної схеми алгоритму комп'ютерного моделювання нелінійної динамічної системи різними методами Z-перетворення Література: [3, 5].
---	---

Лабораторні заняття

Основним завданням циклу лабораторних занять є проведення імітаційних експериментів на комп'ютері з метою формування умінь та навичок практичного підтвердження окремих теоретичних положень, оволодіння методикою експериментальних досліджень та обробки отриманих даних.

№ з/п	Назва теми лабораторних занять (комп'ютерного практикуму) та перелік основних питань (посилання на літературу)
1	Назва теми заняття: Розв'язання диференціального рівняння другого порядку зі спеціальною правою частиною при ненульових початкових умовах чисельно-аналітичним методом Перелік основних питань: Скласти структурну схему алгоритму функціонування цифрової моделі диференціального рівняння чисельно-аналітичним методом Література: [1, 5]
2	Назва теми заняття: Розв'язання диференціального рівняння другого порядку зі спеціальною правою частиною при ненульових початкових умовах чисельно-аналітичним методом Перелік основних питань: Синтезувати SIMULINK-модель диференціального рівняння в середовищі MATLAB та отримати графічні результати комп'ютерного моделювання Література: [1, 4]
3	Назва теми заняття: Розв'язання диференціального рівняння другого порядку зі спеціальною правою частиною при ненульових початкових умовах за допомогою Z-перетворення Перелік основних питань: Скласти структурну схему алгоритму функціонування цифрової моделі диференціального рівняння за допомогою Z-перетворення Література: [2, 3]
4	Назва теми заняття: Розв'язання диференціального рівняння другого порядку зі спеціальною правою частиною при ненульових початкових умовах за допомогою Z-перетворення Перелік основних питань: Синтезувати SIMULINK-модель диференціального рівняння в середовищі MATLAB та отримати графічні результати комп'ютерного моделювання Література: [3, 5]
5	Назва теми заняття: Дослідження лінійної та нелінійної динамічних систем чисельно-аналітичним методом та за допомогою Z-перетворення Перелік основних питань: Скласти структурні схеми лінійної та нелінійної динамічних систем у безперервному просторі станів. Замінити безперервні моделі систем дискретними. Скласти аналітичний опис нелінійного елементу. Література: [1, 7]
6	Назва теми заняття: Дослідження лінійної динамічної системи другого порядку при ненульових початкових умовах чисельно-аналітичним методом шляхом прямого програмування

	Перелік основних питань: Синтезувати SIMULINK-модель лінійної динамічної системи в середовищі MATLAB та отримати графічні результати комп'ютерного моделювання Література: [2, 5]
7	Назва теми заняття: Дослідження лінійної динамічної системи другого порядку при ненульових початкових умовах з використанням Z-перетворення шляхом прямого програмування Перелік основних питань: Синтезувати SIMULINK-модель лінійної динамічної системи в середовищі MATLAB та отримати графічні результати комп'ютерного моделювання Література: [2, 4].
8	Назва теми заняття: Дослідження нелінійної динамічної системи без урахування початкових умов чисельно-аналітичним методом шляхом послідовного програмування Перелік основних питань: Синтезувати SIMULINK-модель нелінійної динамічної системи в середовищі MATLAB та отримати графічні результати комп'ютерного моделювання Література: [3, 7].
9	Назва теми заняття: Дослідження нелінійної динамічної системи без урахування початкових умов з використанням Z-перетворення шляхом послідовного програмування Перелік основних питань: Синтезувати SIMULINK-модель нелінійної динамічної системи в середовищі MATLAB та отримати графічні результати комп'ютерного моделювання Література: [2, 6]

6. Самостійна робота студента/аспіранта

Самостійна робота студент згідно навчального плану передбачає 96 годин:

підготовку до аудиторних занять – 46 год;

підготовку до модульної контрольної роботи – 10 год;

виконання РР – 10 год;

підготовку до екзамену – 30 год.

В якості індивідуального семестрового завдання, згідно навчального плану, студенти виконують розрахункову роботу (РР)

Завдання розрахункової роботи № 1

Дослідження математичних моделей диференціального рівняння другого порядку зі спеціальною правою частиною при ненульових початкових умовах за деталізованою методикою.

Порядок виконання завдання:

1. Представити задане диференціальне рівняння у нормальній формі Коші та скласти відповідну структурну схему у безперервному просторі станів.

2. Замінити безперервну математичну модель дискретною з використанням заданої апроксимації інтеграторів та побудувати структурну схему алгоритму дослідження диференціального рівняння другого порядку чисельно-аналітичним методом.

3. Скласти програму у середовищі Matlab та отримати графічні результати комп'ютерного моделювання диференціального рівняння другого порядку чисельно-аналітичним методом.

4. Синтезувати Simulink-модель диференціального рівняння другого порядку у середовищі Matlab та отримати графічні результати комп'ютерного моделювання чисельно-аналітичним методом.

5. Замінити безперервну математичну модель дискретною з використанням заданого методу Z-перетворення та скласти відповідну структурну схему у дискретному просторі станів.

6. Побудувати структурну схему алгоритму дослідження математичної моделі диференціального рівняння другого порядку методом Z -перетворення.

7. Скласти програму у середовищі Matlab та отримати графічні результати комп'ютерного моделювання диференціального рівняння другого порядку методом Z -перетворення.

8. Синтезувати Simulink-модель диференціального рівняння другого порядку у середовищі Matlab та отримати графічні результати комп'ютерного моделювання методом Z -перетворення.

Завдання розрахункової роботи № 2

Дослідження математичних моделей диференціального рівняння другого порядку зі спеціальною правою частиною ненульових початкових умов за узагальненою методикою.

Порядок виконання завдання:

1. Представити задане диференціальне рівняння в операторній формі з урахуванням початкових умов та скласти узагальнену структурну схему у безперервному просторі станів.

2. Представити передавальні функції в інтегральному вигляді та скласти деталізовану структурну схему диференціального рівняння другого порядку у безперервному просторі станів.

3. Замінити безперервну математичну модель дискретною з використанням заданої апроксимації інтеграторів та побудувати структурну схему алгоритму дослідження диференціального рівняння другого порядку чисельно-аналітичним методом.

4. Скласти програму у середовищі Matlab та отримати графічні результати комп'ютерного моделювання диференціального рівняння другого порядку чисельно-аналітичним методом.

5. Синтезувати Simulink-модель диференціального рівняння другого порядку у середовищі Matlab та отримати графічні результати комп'ютерного моделювання чисельно-аналітичним методом.

6. Замінити безперервну математичну модель дискретною з використанням заданого методу Z -перетворення та скласти структурну схему диференціального рівняння другого порядку у дискретному просторі станів.

7. Побудувати структурну схему алгоритму дослідження математичної моделі диференціального рівняння другого порядку методом Z -перетворення.

8. Скласти програму у середовищі Matlab та отримати графічні результати комп'ютерного моделювання диференціального рівняння другого порядку методом Z -перетворення.

9. Синтезувати Simulink-модель диференціального рівняння другого порядку у середовищі Matlab та отримати графічні результати комп'ютерного моделювання методом Z -перетворення.

Завдання розрахункової роботи № 3

Дослідження математичних моделей лінійної динамічної системи другого порядку при ненульових початкових умовах шляхом прямого програмування

Порядок виконання завдання:

1. Скласти узагальнену структурну схему лінійної динамічної системи другого порядку та визначити загальну передавальну функцію.

2. Скласти диференціальне рівняння лінійної динамічної системи в операторній формі з урахуванням початкових умов та представити його узагальненою структурною схемою у безперервному просторі станів.

3. Представити передавальні функції в інтегральному вигляді та скласти деталізовану структурну схему лінійної динамічної системи другого порядку у безперервному просторі станів.

4. Замінити безперервну математичну модель дискретною з використанням заданої апроксимації інтеграторів та побудувати структурну схему алгоритму дослідження лінійної динамічної системи другого порядку чисельно-аналітичним методом.

5. Скласти програму у середовищі Matlab та отримати графічні результати комп'ютерного моделювання лінійної динамічної системи другого порядку чисельно-аналітичним методом.

6. Синтезувати Simulink-модель лінійної динамічної системи другого порядку у середовищі Matlab та отримати графічні результати комп'ютерного моделювання чисельно-аналітичним методом.

7. Замінити безперервну математичну модель дискретною з використанням заданого методу *Z*-перетворення та скласти структурну схему лінійної динамічної системи другого порядку у дискретному просторі станів.

8. Побудувати структурну схему алгоритму дослідження математичної моделі лінійної динамічної системи другого порядку методом *Z*-перетворення.

9. Скласти програму у середовищі Matlab та отримати графічні результати комп'ютерного моделювання лінійної динамічної системи другого порядку методом *Z*-перетворення.

10. Синтезувати Simulink-моделі лінійної динамічної системи другого порядку у середовищі Matlab та отримати графічні результати комп'ютерного моделювання методом *Z*-перетворення

Завдання розрахункової роботи № 4

Дослідження математичних моделей нелінійної динамічної системи без урахування початкових умов шляхом послідовного програмування

Порядок виконання завдання:

1. Визначити передавальні функції лінійних ланок нелінійної динамічної системи та скласти узагальнену структурну схему у безперервному просторі станів.

2. Представити передавальні функції в інтегральному вигляді та скласти деталізовану структурну схему нелінійної динамічної системи у безперервному просторі станів.

3. Замінити безперервну математичну модель дискретною з використанням заданої апроксимації інтеграторів та побудувати структурну схему алгоритму дослідження нелінійної динамічної системи чисельно-аналітичним методом.

4. Скласти програму у середовищі Matlab та отримати графічні результати комп'ютерного моделювання нелінійної динамічної системи чисельно-аналітичним методом.

5. Синтезувати Simulink-моделі нелінійної динамічної системи у середовищі Matlab та отримати графічні результати комп'ютерного моделювання чисельно-аналітичним методом.

6. Замінити безперервну математичну модель дискретною з використанням заданого методу *Z*-перетворення та скласти структурну схему нелінійної динамічної системи у дискретному просторі станів.

7. Побудувати структурну схему алгоритму дослідження математичної моделі нелінійної динамічної системи методом *Z*-перетворення.

8. Скласти програму у середовищі Matlab та отримати графічні результати комп'ютерного моделювання нелінійної динамічної системи методом *Z*-перетворення

9. Синтезувати Simulink-моделі нелінійної динамічної системи у середовищі Matlab та отримати графічні результати комп'ютерного моделювання методом *Z*-перетворення.

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

На момент проведення кожного заняття, як лекційного, так і практичного, у студента на пристрої, з якого він працює, має бути встановлено додаток Zoom (у випадку дистанційного навчання), а також відкрито курс «Моделювання електротехнічних та мехатронних систем» на платформі «Сікорський» (код доступу до курсу надається на першому занятті згідно з розкладом). Силабус; лекційний матеріал; завдання до комп'ютерного практикуму; варіанти модульної контрольної роботи; методичні рекомендації до виконання комп'ютерного практикуму та розрахункової роботи; перелік теоретичних питань та практичних задач до іспиту розміщено на платформі «Сікорський» та у системі «Електронний Кампус КПІ».

Під час проходження курсу «Моделювання електротехнічних та мехатронних систем» студенти зобов'язані дотримуватись загальних моральних принципів та правил етичної поведінки, зазначених у Кодексі честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

Дедлайни виконання кожного завдання зазначено у курсі «Моделювання електротехнічних та мехатронних систем» на платформі «Сікорський».

Усі без виключення студенти зобов'язані дотримуватись вимог Положення про систему запобігання академічному плагіату в Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

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:

- дві відповіді на 9 практичних заняттях (із розрахунку, що на кожному практичному занятті у середньому оцінюються 5 студентів (при чисельності групи 20 осіб – $9 \times 5 / 20 \approx 2$ відп.);
- виконання 2 лабораторних завдань на 9 заняттях;
- дві контрольні роботи (одна модульна контрольна робота поділяється на дві контрольні роботи тривалістю по одній академічній годині);
- виконання 4 завдань розрахункової роботи;

2. Критерії нарахування балів:

2.1. Робота на практичних заняттях:

Ваговий бал – 3. Максимальна кількість балів на всіх практичних заняттях дорівнює:
 $3 \text{ бали} \times 2 \text{ відп.} = 6 \text{ балів.}$

Критерії оцінки виконання завдань комп'ютерного практикуму	бали
Повна вичерпна відповідь	3
Правильна відповідь з деякими недоліками	2
Неповна відповідь із суттєвими недоліками	1
Досить слабка, або не вірна відповідь	0

2.2. Лабораторні заняття

Ваговий бал – 3. Максимальна кількість балів: $3 \text{ бали} \times 2 \text{ завд.} = 6 \text{ балів.}$

Критерії оцінки виконання лабораторних завдань	бали
Повне вичерпне виконання (не менше 90 %)	3
Повне виконання з деякими недоліками (не менше 75 %)	2
Неповне виконання із суттєвими недоліками (не менше 60 %)	1
Досить слабе, або не вірне виконання (менше 60 %)	0

2.3. Модульний контроль

Ваговий бал – 3. Максимальна кількість балів за 2 одноденні модульні контрольні роботи (МКР) дорівнює: $3 \text{ бали} \times 2 \text{ МКР} = 6 \text{ балів.}$

Критерії оцінки виконання МКР	бали
повна відповідь (не менше 90 % потрібної інформації)	3
достатньо повна відповідь (не менше 75 % потрібної інформації), або повна відповідь з незначними неточностями	2
неповна відповідь (не менше 60 % потрібної інформації) та незначні помилки	1
незадовільна відповідь (не відповідає вимогам на «задовільно»)	0

2.4. Розрахункова робота

Ваговий бал – 8. Максимальна кількість балів за виконання і захист 4-х завдань РР дорівнює 32 бали (по 8 балів за кожне завдання).

Критерії оцінки виконання і захисту РР	бали
виконано всі вимоги до роботи	6...8
виконані майже всі вимоги до роботи, або є несуттєві помилки	3...5
є недоліки щодо виконання вимог до роботи і певні помилки	1...2
робота не відповідає встановленим вимогам	0

За участь у Всеукраїнській олімпіаді (конкурсі наукових робіт) студенту нараховується 5 (І тур) або 10 (ІІ тур) балів. За написання статті та її публікацію студенту нараховується 10 балів (видання, що входить до Scopus або Web of Science) або 6 балів (фахове видання України). За публікацію тез доповіді на науковій конференції – 3 бали. Загальна сума заохочувальних балів не може перевищувати 10 балів.

3. Календарний контроль.

Календарний контроль проводиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу. Умовою позитивного першого та другого календарного контролів є отримання не менше 50 % максимально можливого на момент відповідного календарного контролю рейтингу.

4. Семестровий контроль.

Семестровий контроль: Екзамен.

Умови допуску до семестрового контролю: виконання всіх завдань комп'ютерного практикуму та лабораторних робіт, а також виконання модульних контрольних робіт і розрахункової роботи. Крім того, попередня рейтингова оцінка з кредитного модуля має бути $r_C \geq 25$ балів (не менше 50 % від R_C).

Розмір шкали рейтингу: $R = R_C + R_E = 50 + 50 = 100$ балів.

Розмір стартової шкали: $R_C = 6 + 6 + 6 + 32 = 50$ балів.

Розмір екзаменаційної шкали: $R_E = 50$ балів (50 % від R).

5. Завдання екзаменаційної роботи виконується письмово і складається з одного теоретичного запитання та одної практичної задачі. Перелік питань наведений у цьому силабусі. Теоретичне питання оцінюється у 20 балів, а задача – 30 балів.

Система оцінювання теоретичного питання	бали
«відмінно», повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації)	16...20
«добре», достатньо повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації або незначні неточності)	10...15
«задовільно», неповна відповідь (не менше 60% потрібної інформації та деякі помилки)	6...9
«незадовільно», незадовільна відповідь	0...5

Система оцінювання практичних запитань (задачі)	бали
«відмінно», повне безпомилкове розв'язування завдання	25...30
«добре», повне розв'язування завдання з несуттєвими неточностями	18...24
«задовільно», завдання виконане з певними недоліками	9...17
«незадовільно», завдання не виконано	0...8

Для заочної форми навчання.

Поточний контроль: МКР (проводиться безпосередньо на лекційному занятті у присутності викладача, 6 балів); комп'ютерні практикуми (6 балів), лабораторні роботи (12 балів), розрахункова робота (26 балів). Структура МКР, вимоги до них та критерії оцінювання аналогічні як і для очної форми навчання і наведені вище.

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

Рейтингові бали	Оцінка за університетською шкалою
95...100	відмінно
85...94	дуже добре
75...84	добре
65...74	задовільно
60...64	достатньо
Менше 60	незадовільно
Невиконання умов допуску до екзамену	не допущено

9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

Перелік питань, які виносяться на семестровий контроль, наведено у додатку до силабусу. Здобувач вищої освіти має можливість пройти онлайн курс(и) за однією або декількома темами, передбаченими робочою програмою навчальної дисципліни. Онлайн курс здобувач може обрати самостійно або за рекомендацією викладача, на платформі Coursera або Udemu. 1 год прослуханого курсу оцінюється у 0,83 бали. Максимальна кількість годин, яка може бути зарахована за результатами неформальної освіти, становить 12 год, відповідно максимальна кількість балів за такі результати становить – 10 балів.

ЕКЗАМЕНАЦІЙНІ ПИТАННЯ З КУРСУ:

1. Розкрити основні поняття моделювання (фізичне та математичне моделювання, об'єктно-орієнтовний принцип, система, процес, параметри, властивості, стан, характеристики, детерміновані та недетерміновані моделі, імітаційне моделювання, математична модель «чорної скрині») та відобразити загальну структуру електротехнічної системи.

2. Скласти диференціальне рівняння, передавальну функцію та побудувати структурну схему системи гідравлічного приводу.

3. Скласти диференціальне рівняння, передавальну функцію та побудувати структурну схему системи електродвигуна постійного струму незалежного збудження.

4. Скласти диференціальні рівняння та передавальні функції пружної механічної системи.

5. Скласти диференціальні рівняння та передавальні функції електричного кола.

6. Відобразити математичну сутність перетворення Лапласа (оригінал та зображення).

7. Відобразити основні властивості перетворення Лапласа.

8. Відобразити математичну сутність перетворення Лапласа-Карсона та привести основні формули перетворення.

9. Привести загальну методику розв'язання диференціальних рівнянь та викласти основні положення операторного методу.

10. Сформулювати загальну методику розв'язання диференціальних рівнянь та викласти основні положення методу Рунге-Кутта.

11. Сформулювати основні поняття чисельного інтегрування та скласти математичні рівняння лінійної системи з чотирьох інтегруючих елементів.
12. Викласти математичну сутність апроксимації функцій: ступінчаста та ступінчаста з упередженням апроксимація.
13. Викласти математичну сутність апроксимації функцій: кусково-лінійна апроксимація та поліном Лагранжа.
14. Довести геометричну сутність операції диференціювання та реалізувати її за допомогою чисельного рівняння та Z -перетворення.
15. Викласти методику реалізації нелінійних елементів та скласти аналітичний опис та структурні схеми алгоритмів реалізації нелінійних елементів з релейною характеристикою.
16. Викласти методику реалізації нелінійних елементів та скласти аналітичний опис та структурну схему алгоритму реалізації нелінійного елементу з петлею Гістерезису.
17. Відобразити основні елементи операційних підсилювачів постійного струму, принципову схему, передавальну функцію та реалізувати суматор.
18. Викласти основні характеристики алгоритмів автоматичного регулювання та відобразити принципові схеми та передавальні функції пропорційного, інтегрального та пропорційно-інтегрального регулювання.
19. Викласти основні характеристики алгоритмів автоматичного регулювання та відобразити принципові схеми та передавальні функції диференціального регулювання.
20. Викласти основні характеристики алгоритмів автоматичного регулювання та відобразити принципові схеми та передавальні функції пропорційно-інтегрально-диференціального регулювання.
21. Викласти методику відображення систем у безперервному просторі станів та представити векторно-матричну модель безперервної лінійної системи.
22. Відобразити основні математичні залежності методу безпосередньої декомпозиції першим способом, скласти відповідні структурні схеми та діаграму стану лінійної системи.
23. Відобразити основні математичні залежності методу безпосередньої декомпозиції другим способом, скласти відповідні структурні схеми та діаграму стану лінійної системи.
24. Сформулювати основні положення принципу суперпозиції, скласти структурні схеми та передавальні функції лінійної системи.
25. Викласти основні положення та побудувати структурну схему нелінійної системи методом прямого програмування.
26. Викласти основні положення та побудувати структурну схему нелінійної системи методом послідовного програмування.
27. Викласти основні положення та побудувати структурну схему нелінійної системи методом паралельного програмування.
28. Порівняти загальні методи моделювання систем та скласти структурну схему алгоритму дослідження нелінійної системи другого порядку чисельно-аналітичним методом.
29. Порівняти загальні методи моделювання систем та викласти основні математичні залежності та етапи методу Z -перетворення.
30. Скласти структурну схему алгоритму дослідження нелінійної системи другого порядку методом Z -перетворення.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено: доцент кафедри АЕМК, к.т.н., доцент **Данілін Олександр Валерійович**

Ухвалено: кафедрою АЕМК (протокол № 15 від 04.06.2025 р.)

Погоджено: Методичною комісією НН ІЕЕ (протокол № 30 від 25.06.2025 р.)