



# МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ 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 автоматизованих електротехнічних 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 кредита / 150 годи</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Іспит</i>
Розклад занять	<i><a href="http://rozklad.kpi.ua/">http://rozklad.kpi.ua/</a></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: (ФК10) Здатність 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; (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; (ПРН21) Використовувати, розраховувати та досліджувати цифрові та нелінійні регулятори технологічних процесів, використовуючи сучасне електротехнічне обладнання; (ПРН22) Створювати універсальні найбільш ефективні алгоритми моделювання процесів електротехнічних 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 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 систем», є необхідними для кожного фахівця електротехнічного профілю, які вирішують інженерні завдання у сфері електротехніки та при вивченні таких дисциплін: «Системи автоматизації інженерних розрахунків електроприводу» та при виконанні дипломного проекту, 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 та аналіз математичних моделей фізичних систем

### **Розділ 2. Чисельне інтегрування диференціальних рівнянь**

Тема 2.1. Перетворення Лапласа. Операторний метод та метод Рунге-Кутта

Тема 2.2. Апроксимація функцій

### **Розділ 3. Реалізація математичних моделей**

Тема 3.1. Алгоритми автоматичного регулювання

Тема 3.2. Нелінійні елементи та операційні підсилювачі

### **Розділ 4. Відображення систем у просторі станів**

Тема 4.1. Метод безпосередньої декомпозиції

Тема 4.2. Пряме, послідовне та паралельне програмування

### **Розділ 5. Загальні методи моделювання динамічних систем**

Тема 5.1. Чисельно-аналітичний метод моделювання

Тема 5.2. 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 електроприводу» і 7.092204 – «Електромеханічне обладнання енергоємних виробництв» / Укладачі: О.В. Чермалих, О.В. Данілін, В.В. Кузнєцов. – 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)

Методика викладання дисципліни поєднує наочні методи навчання з поясненням. Викладання проводиться у формі лекцій, практичних та лабораторних занять у вигляді комп'ютерного практикуму. При виконанні розрахункової роботи застосовується проблемно-пошуковий метод.

#### Лекційні заняття

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (посилання на літературу)
1	<b>Назва теми лекції:</b> Вступ до дисципліни <b>Перелік основних питань:</b> Основні поняття моделювання (фізичне та математичне моделювання, об'єктно-орієнтовний принцип, система, процес, параметри, властивості, стан, характеристики тощо). <b>Література:</b> [2, 4]
2	<b>Назва теми лекції:</b> Імітаційне, об'єктно-орієнтоване моделювання <b>Перелік основних питань:</b> 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" <b>Література:</b> [1, 7]
3	<b>Назва теми лекції:</b> Побудова математичних моделей технічних систем <b>Перелік основних питань:</b> Гідравлічний привод та електродвигун постійного струму

	<p>незалежного збудження. Отримання диференціальних рівнянь систем, структурних схем та передавальних функцій.</p> <p><b>Література:</b> [1, 6]</p>
4	<p><b>Назва теми лекції:</b> Побудова математичних моделей технічних систем</p> <p><b>Перелік основних питань:</b> 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</p> <p><b>Література:</b> [2, 5]</p>
5	<p><b>Назва теми заняття:</b> Основи поняття та властивості перетворення Лапласа</p> <p><b>Перелік основних питань:</b> Поняття оригіналу та зображення. Докази основних властивостей перетворення Лапласа. Перетворення Лапласа-Карсона.</p> <p><b>Література:</b> [3, 6]</p>
6	<p><b>Назва теми заняття:</b> Загальна методика розв'язку диференціальних рівнянь</p> <p><b>Перелік основних питань:</b> Математична сутність операторного методу та методу Рунге-Кутта першого порядку.</p> <p><b>Література:</b> [3, 7]</p>
7	<p><b>Назва теми лекції:</b> Апроксимація функцій</p> <p><b>Перелік основних питань:</b> Поняття наближаючої функції. Задача інтерполявання та апроксимації функції. Методи апроксимації. Ступінчаста апроксимація, Ступінчаста з упередженням апроксимація. Кусково-лінійна апроксимація. Чисельне інтегрування диференціальних рівнянь</p> <p><b>Література:</b> [1, 4]</p>
8	<p><b>Назва теми лекції:</b> Реалізація елементів електротехнічних систем.</p> <p><b>Перелік основних питань:</b> 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.</p> <p><b>Література:</b> [1, 3].</p>
9	<p><b>Назва теми лекції:</b> Основні алгоритми автоматичного регулювання</p> <p><b>Перелік основних питань:</b> Пропорційне, пропорційно-інтегральне та диференціальне регулювання. Основні математичні залежності та передавальні функції відповідних ланок.</p> <p><b>Література:</b> [2, 7].</p>
10	<p><b>Назва теми лекції:</b> ПД-регулятор в системах автоматичного регулювання</p> <p><b>Перелік основних питань:</b> Передавальні функції та принципові схеми різних типів ПД-регулятора.</p> <p><b>Література:</b> [3, 4]</p>
11	<p><b>Назва теми лекції:</b> Реалізація нелінійних елементів.</p> <p><b>Перелік основних питань:</b> Аналітичний опис та побудова структурних схем алгоритмів елементів "релейного" типу Використання середовища MATLAB для інтерактивного моделювання нелінійних елементів</p> <p><b>Література:</b> [2, 6].</p>
12	<p><b>Назва теми лекції:</b> Реалізація нелінійних елементів та операції диференціювання.</p> <p><b>Перелік основних питань:</b> Аналітичний опис та побудова структурних схем алгоритмів елемента з "петлею Гістерезисну". Використання середовища MATLAB для інтерактивного моделювання нелінійних елементів. Реалізація операції</p>

	диференціювання. <b>Література:</b> [1, 3].
13	<b>Назва теми лекції:</b> Метод безпосередньої декомпозиції. <b>Перелік основних питань:</b> Основні математичні залежності методу безпосередньої декомпозиції двома способами, складання відповідних структурних схем та діаграми стану лінійної системи. <b>Література:</b> [3, 6].
14	<b>Назва теми лекції:</b> Побудова структурних схем в просторі станів <b>Перелік основних питань:</b> Метод простору станів, змінні стану. Пряме та послідовне програмування. Отримання аналітичних виразів та створення відповідних алгоритмів математичних моделей <b>Література:</b> [2, 5].
15	<b>Назва теми лекції:</b> Побудова структурних схем в просторі станів <b>Перелік основних питань:</b> Метод простору станів, змінні стану. Паралельне та змішане (комбіноване) програмування. Отримання аналітичних виразів та створення відповідних алгоритмів математичних моделей <b>Література:</b> [3, 4].
16	<b>Назва теми лекції:</b> Чисельно-аналітичний метод комп'ютерного моделювання <b>Перелік основних питань:</b> 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 <b>Література:</b> [1, 6].
17	<b>Назва теми лекції:</b> Метод Z-перетворення. <b>Перелік основних питань:</b> Дискретне перетворення Лапласа. Основні математичні залежності. Оператори дискретного інтегрування. Перехід від безперервної системи до дискретної. <b>Література:</b> [3, 7].
18	<b>Назва теми лекції:</b> Математичне моделювання за допомогою Z- перетворення <b>Перелік основних питань:</b> Побудова структурної схеми та алгоритму комп'ютерного моделювання нелінійної системи за допомогою Z- перетворення <b>Література:</b> [2, 4].

### Практичні заняття

Основним завданням циклу практичних занять є закріплення теоретичних положень дисципліни і набуття умінь їх практичного застосування шляхом виконання певних відповідно сформульованих завдань.

№ з/п	Назва теми практичних занять та перелік основних питань (посилання на літературу)
1	<b>Назва теми заняття:</b> Синтез математичних моделей технічних систем різної фізичної природи <b>Перелік основних питань:</b> Складання аналітичного опису, диференціальних рівнянь та структурних схем систем гідравлічного приводу, електродвигуна постійного струму, пружної механічної системи та електричного кола. <b>Література:</b> [1, 5]

2	<p><b>Назва теми заняття:</b> Основи поняття та властивості перетворення Лапласа</p> <p><b>Перелік основних питань:</b> Поняття оригіналу та зображення. Докази основних властивостей перетворення Лапласа. Перетворення Лапласа-Карсона.</p> <p><b>Література:</b> [3, 6]</p>
3	<p><b>Назва теми заняття:</b> Загальна методика розв'язку диференціальних рівнянь</p> <p><b>Перелік основних питань:</b> Математична сутність операторного методу та методу Рунге-Кутта.</p> <p><b>Література:</b> [2, 4]</p>
4	<p><b>Назва теми заняття:</b> Чисельне інтегрування. Апроксимація функцій</p> <p><b>Перелік основних питань:</b> Геометрична сутність ступінчастої, ступінчастої з упередженням та кусково-лінійної апроксимації. Викладення основних математичних залежностей для інтеграторів другого порядку.</p> <p><b>Література:</b> [1, 5]</p>
5	<p><b>Назва теми заняття:</b> Реалізація нелінійних елементів та операції диференціювання.</p> <p><b>Перелік основних питань:</b> Складання аналітичних залежностей та структурних схем алгоритму дослідження нелінійних елементів релейного типу та петлі Гістерезису. Математичний опис операції диференціювання.</p> <p><b>Література:</b> [2, 7]</p>
6	<p><b>Назва теми заняття:</b> Алгоритми автоматичного регулювання.</p> <p><b>Перелік основних питань:</b> Розгляд основних характеристик алгоритмів регулювання. Відображення принципів та структурних схем, складання передавальних функцій для пропорційного, інтегрального, диференціального та ПД- регулювання</p> <p><b>Література:</b> [1, 3]</p>
7	<p><b>Назва теми заняття:</b> Метод простору станів. Побудова структурних схем.</p> <p><b>Перелік основних питань:</b> Основні принципи побудови структурних схем у просторі станів. Метод безпосередньої декомпозиції. Складання структурних схем методом прямого, послідовного та паралельного програмування.</p> <p><b>Література:</b> [2, 3]</p>
8	<p><b>Назва теми заняття:</b> Чисельно-аналітичний метод моделювання систем.</p> <p><b>Перелік основних питань:</b> Складання структурної схеми алгоритму комп'ютерного моделювання нелінійної динамічної системи.</p> <p><b>Література:</b> [1, 7].</p>
9	<p><b>Назва теми заняття:</b> Методи дискретного Z-перетворення</p> <p><b>Перелік основних питань:</b> Складання структурної схеми алгоритму комп'ютерного моделювання нелінійної динамічної системи різними методами Z-перетворення</p> <p><b>Література:</b> [3, 5].</p>

### Лабораторні заняття (комп'ютерний практикум)

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	<p><b>Назва теми заняття:</b> Розв'язання диференціального рівняння другого порядку зі спеціальною правою частиною при ненульових початкових умовах чисельно-аналітичним методом</p> <p><b>Перелік основних питань:</b> Скласти структурну схему алгоритму функціонування цифрової моделі диференціального рівняння чисельно-аналітичним методом</p> <p><b>Література:</b> [1, 5]</p>
2	<p><b>Назва теми заняття:</b> Розв'язання диференціального рівняння другого порядку зі спеціальною правою частиною при ненульових початкових умовах чисельно-аналітичним методом</p> <p><b>Перелік основних питань:</b> Синтезувати SIMULINK-модель диференціального рівняння в середовищі MATLAB та отримати графічні результати комп'ютерного моделювання</p> <p><b>Література:</b> [1, 4]</p>
3	<p><b>Назва теми заняття:</b> Розв'язання диференціального рівняння другого порядку зі спеціальною правою частиною при ненульових початкових умовах за допомогою Z-перетворення</p> <p><b>Перелік основних питань:</b> Скласти структурну схему алгоритму функціонування цифрової моделі диференціального рівняння за допомогою Z-перетворення</p> <p><b>Література:</b> [2, 3]</p>
4	<p><b>Назва теми заняття:</b> Розв'язання диференціального рівняння другого порядку зі спеціальною правою частиною при ненульових початкових умовах за допомогою Z-перетворення</p> <p><b>Перелік основних питань:</b> Синтезувати SIMULINK-модель диференціального рівняння в середовищі MATLAB та отримати графічні результати комп'ютерного моделювання</p> <p><b>Література:</b> [3, 5]</p>
5	<p><b>Назва теми заняття:</b> Дослідження лінійної та нелінійної динамічних систем чисельно-аналітичним методом та за допомогою Z-перетворення</p> <p><b>Перелік основних питань:</b> Скласти структурні схеми лінійної та нелінійної динамічних систем у безперервному просторі станів. Замінити безперервні моделі систем дискретними. Скласти аналітичний опис нелінійного елементу.</p> <p><b>Література:</b> [1, 7]</p>
6	<p><b>Назва теми заняття:</b> Дослідження лінійної динамічної системи другого порядку при ненульових початкових умовах чисельно-аналітичним методом шляхом прямого програмування</p> <p><b>Перелік основних питань:</b> Синтезувати SIMULINK-модель лінійної динамічної системи в середовищі MATLAB та отримати графічні результати комп'ютерного моделювання</p> <p><b>Література:</b> [2, 5]</p>
7	<p><b>Назва теми заняття:</b> Дослідження лінійної динамічної системи другого порядку при ненульових початкових умовах з використанням Z-перетворення шляхом прямого програмування</p> <p><b>Перелік основних питань:</b> Синтезувати SIMULINK-модель лінійної динамічної системи в середовищі MATLAB та отримати графічні результати комп'ютерного моделювання</p> <p><b>Література:</b> [2, 4].</p>
8	<p><b>Назва теми заняття:</b> Дослідження нелінійної динамічної системи без урахування початкових умов чисельно-аналітичним методом шляхом послідовного програмування</p> <p><b>Перелік основних питань:</b> Синтезувати SIMULINK-модель нелінійної динамічної системи в середовищі MATLAB та отримати графічні результати комп'ютерного моделювання</p>

	<b>Література:</b> [3, 7].
9	<b>Назва теми заняття:</b> Дослідження нелінійної динамічної системи без урахування початкових умов з використанням Z-перетворення шляхом послідовного програмування <b>Перелік основних питань:</b> Синтезувати SIMULINK-модель нелінійної динамічної системи в середовищі MATLAB та отримати графічні результати комп'ютерного моделювання <b>Література:</b> [2, 6]

## 6. Самостійна робота студента/аспіранта

*Самостійна робота студент згідно навчального плану передбачає 78 годин:  
підготовку до аудиторних занять – 28 год;  
підготовку до модульної контрольної роботи – 10 год;  
виконання РГР – 10 год;  
підготовку до екзамену – 30 год.*

В якості індивідуального семестрового завдання, згідно навчального плану, студенти виконують розрахунково-графічну роботу (РГР)

### Завдання на розрахунково-графічну роботу

#### Завдання 1

Дослідження математичних моделей диференціального рівняння другого порядку зі спеціальною правою частиною при ненульових початкових умовах за першою 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 модель системи дискретною з використанням заданої апроксимації інтеграторів та скласти структурну схему алгоритму дослідження диференціального рівняння чисельно-аналітичним методом.
3. Синтезувати Simulink-моделі системи у середовищі Matlab та отримати графічні результати комп'ютерного моделювання чисельно-аналітичним методом.
4. Замінити безперервну модель системи дискретною за допомогою заданого методу Z-перетворення та скласти відповідні структурні схеми у дискретному просторі станів.
5. Скласти структурну схему алгоритму дослідження диференціального рівняння за допомогою Z-перетворення.
6. Синтезувати Simulink-моделі системи у середовищі Matlab та отримати графічні результати комп'ютерного моделювання за допомогою Z-перетворення.

#### Завдання 2

Дослідження математичних моделей диференціального рівняння другого порядку зі спеціальною правою частиною ненульових початкових умовах за другою 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 системи в інтегральному вигляді та скласти деталізовану структурну схему диференціального рівняння у безперервному просторі станів.
3. Замінити безперервну модель системи дискретною з використанням заданої апроксимації інтеграторів та скласти структурну схему алгоритму дослідження диференціального рівняння чисельно-аналітичним методом.
4. Синтезувати Simulink-моделі системи у середовищі Matlab та отримати графічні результати комп'ютерного моделювання чисельно-аналітичним методом.



5. Замінити безперервну модель системи дискретною за допомогою заданого методу  $Z$ -перетворення та скласти відповідну структурну схему у дискретному просторі станів.

6. Скласти структурну схему алгоритму дослідження диференціального рівняння за допомогою  $Z$ -перетворення.

7. Синтезувати Simulink-моделі системи у середовищі Matlab та отримати графічні результати комп'ютерного моделювання за допомогою  $Z$ -перетворення.

### **Завдання 3**

Дослідження лінійної динамічної системи другого порядку при ненульових початкових умовах з використанням  $Z$ -перетворення шляхом прямого програмування.

*Порядок виконання завдання:*

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

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

3. Замінити безперервну математичну модель лінійної системи дискретною з використанням  $Z$ -перетворення та побудувати відповідні структурні схеми у дискретному просторі станів.

4. Скласти структурну схему алгоритму дослідження математичної моделі лінійної динамічної системи другого порядку за допомогою  $Z$ -перетворення шляхом прямого програмування.

5. Синтезувати Simulink-моделі лінійної динамічної системи у середовищі Matlab та отримати графічні результати комп'ютерного моделювання.

### **Завдання 4**

Дослідження нелінійної динамічної системи без урахування початкових умов з використанням  $Z$ -перетворення шляхом послідовного програмування.

*Порядок виконання завдання:*

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

2. Замінити безперервну математичну модель нелінійної системи дискретною з використанням  $Z$ -перетворення та побудувати відповідну структурну схему у дискретному просторі станів.

3. Скласти структурну схему алгоритму дослідження математичної моделі нелінійної динамічної системи за допомогою  $Z$ -перетворення шляхом послідовного програмування.

4. Синтезувати Simulink-моделі нелінійної динамічної системи у середовищі Matlab та отримати графічні результати комп'ютерного моделювання.

## **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 систем» на платформі «Сікорський» (код доступу до курсу надається на першому занятті згідно з розкладом). Силабус; лекційний матеріал; завдання до кожного практичного заняття; варіанти модульної контрольної роботи; методичні рекомендації до виконання практичних робіт та розрахунково-графічної роботи; варіанти залікової контрольної роботи 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 та захист 4 завдань комп'ютерного практикуму на 9 лабораторних заняттях;
- дві контрольні роботи (одна модульна контрольна робота поділяється на дві контрольні роботи тривалістю по одній академічній годині);
- виконання розрахунково-графічної роботи;

2. Критерії нарахування балів:

2.1. Робота на практичних заняттях:

Ваговий бал – 4. Максимальна кількість балів на всіх практичних заняттях дорівнює: 4 бали  $\times$  2 відп. = 8 балів.

Критерії оцінки відповіді на практичних заняттях	бали
Повна вичерпна відповідь	4
Правильна відповідь з деякими недоліками	3
Неповна відповідь із суттєвими недоліками	2
Досить слабка, або не вірна відповідь	0

2.2. Лабораторні роботи (комп'ютерний практикум)

Ваговий бал – 6. Максимальна кількість балів за 4 завдання комп'ютерного практикуму дорівнює: 6 балів  $\times$  4 завд. = 24 балів

Критерії оцінки виконання завдань комп'ютерного практикуму	бали
Повне вичерпне виконання («відмінно», не менше 90 %)	5...6
Повне виконання з деякими недоліками («добре», не менше 75 %)	3...4
Неповне виконання із суттєвими недоліками («задовільно», не менше 60 %)	1...2
Досить слабе, або не вірне виконання («незадовільно», менше 60 %)	0

2.3. Модульний контроль

Ваговий бал – 4. Максимальна кількість балів за 2 одногодинні модульні контрольні роботи (МКР) дорівнює: 4 бали  $\times$  2 МКР = 8 балів.

Критерії оцінки виконання МКР	бали
повна відповідь (не менше 90 % потрібної інформації)	4
достатньо повна відповідь (не менше 75 % потрібної інформації), або повна відповідь з незначними неточностями	3
неповна відповідь (не менше 60 % потрібної інформації) та незначні помилки	2

незадовільна відповідь (не відповідає вимогам на «задовільно»)	0
--	---

#### 2.4. Розрахунково-графічна робота

Ваговий бал – 10. Максимальна кількість балів за всі критерії виконання і захисту РГР дорівнює 10 балів

Критерії оцінки виконання і захисту РГР	бали
виконано всі вимоги до роботи	9...10
виконані майже всі вимоги до роботи, або є несуттєві помилки	7...8
є недоліки щодо виконання вимог до роботи і певні помилки	6
робота не відповідає встановленим вимогам	0...5

Штрафні та заохочувальні бали (не більше 10 балів)

Критерії нарахування штрафних та (або) заохочувальних балів	бали
недопуск до лабораторної роботи у зв'язку з незадовільним вхідним контролем	- 1
відсутність на лабораторному занятті без поважної причини	- 2
несвоєчасне (пізніше ніж на тиждень) захист завдань комп'ютерного практикуму	- 2
заохочувальні бали (за творчі досягнення з навчальної дисципліни: олімпіада з дисципліни, модернізація лабораторних робіт, виконання завдань із удосконалення дидактичних матеріалів тощо)	+ 1...10

За участь у Всеукраїнській олімпіаді (конкурсі наукових робіт) студенту нараховується 5 (I тур) або 10 (II 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.

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

Розмір стартової шкали:  $R_C = 8 + 24 + 8 + 10 = 50$  балів.

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

Максимальна сума вагових балів всіх контрольних заходів протягом семестру складає  $R_S = 8 + 24 + 8 + 10 + 50 = 100$  балів.

3. За результатами навчальної роботи за перші 7 тижнів «ідеальний студент» має набрати 25 балів. На першій атестації (8-й тиждень) студент отримує «атестовано», якщо його поточний рейтинг не менше 12 балів.

За результатами 13 тижнів навчання «ідеальний студент» має набрати 50 балів. На другій атестації (14-й тиждень) студент отримує «атестовано», якщо його поточний рейтинг не менше 25 балів.

4. Умови допуску до екзамену: виконання всіх завдань комп'ютерного практикуму та РГР, а також попередня рейтингова оцінка з кредитного модуля має бути  $r_C \geq 25$  балів (не менше 50 % від  $R_C$ ).

5. Завдання екзаменаційної роботи виконується письмово і складається з одного теоретичного запитання та одної практичної задачі. Перелік питань наведений у методичних рекомендаціях до засвоєння кредитного модуля. Теоретичне питання оцінюється у 10 балів, а задача – 20 балів.

<b>Система оцінювання теоретичного питання</b>	<b>бали</b>
«відмінно», повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації)	9...10
«добре», достатньо повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації або незначні неточності)	7...8
«задовільно», неповна відповідь (не менше 60% потрібної інформації та деякі помилки)	6
«незадовільно», незадовільна відповідь	0...5

<b>Система оцінювання практичних запитань (задачі)</b>	<b>бали</b>
«відмінно», повне безпомилкове розв'язування завдання	18...20
«добре», повне розв'язування завдання з несуттєвими неточностями	15...17
«задовільно», завдання виконане з певними недоліками	12...14
«незадовільно», завдання не виконано	0...11

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

<b>Рейтингові бали</b>	<b>Оцінка за університетською шкалою</b>
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. 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

### **Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):**

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

**Ухвалено:** кафедрою АЕМК (протокол № 23 від 14.06.2022 р.)

**Погоджено:** Методичною комісією НН ІЕЕ (протокол № 12 від 24.06.2022 р.)

**Додаток до syllabusу освітнього компонента**  
**«Моделювання електротехнічних систем»**  
**Перелік завдань, що виносяться на семестровий контроль**

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 елемента 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.