



# Цифрові та нелінійні системи керування електротехнічними комплексами

## 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)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>2 рік навчання, весняний семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>5 кредитів 150 годин (36 год. лекцій, 36 год. практичних, 78 год. СРС)</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Іспит, РГР, МКР</i>
Розклад занять	<i><a href="https://schedule.kpi.ua/">https://schedule.kpi.ua/</a></i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лектор: к.т.н., доцент, Босак Алла Василівна, тел. 050-729-50-67, email: <a href="mailto:alla_koz@ukr.net">alla_koz@ukr.net</a><sup>1</sup> Практичні / Семінарські: к.т.н., доцент, Босак Алла Василівна, тел. 050-729-50-67, email: <a href="mailto:alla_koz@ukr.net">alla_koz@ukr.net</a></i>
Розміщення курсу	<i><a href="https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=4166">https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=4166</a></i>

### Програма навчальної дисципліни

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

Системи управління є невід'ємною частиною повсякденного життя сучасного суспільства. Вони контролюють нашу побутову техніку, наші розважальні центри, наші машини та наше офісне середовище; вони контролюють наші промислові процеси та наші транспортні системи; вони контролюють наше дослідження землі, моря, повітря та космосу. Майже всі ці програми використовують цифрові контролери, реалізовані на комп'ютерах, мікропроцесорах або цифровій електроніці.

**Метою** вивчення дисципліни є формування у майбутніх інженерів системи знань та практичних навичок проектування інтелектуальних цифрових систем керування мехатронними комплексами, що базуються на комплексному аналізі нелінійної динаміки об'єктів, використанні сучасного апарату дискретної математики та впровадженні предиктивних і нейромережевих стратегій керування разом із технологіями цифрових двійників для забезпечення високої точності,

<sup>1</sup> 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.

робастності та енергоефективності складних електротехнічних систем у контексті стандартів Індустрії 4.0.

Предметом навчальної дисципліни є цифрові системи керування електротехнічними комплексами.

Програмні результати навчання:

**Компетенції:** (K11) здатність вирішувати практичні задачі із застосуванням систем автоматизованого проектування і розрахунків (САПР); (K20) усвідомлення необхідності постійно розширювати власні знання про нові технології в електроенергетиці, електротехніці та 9 електромеханіці; (K24) здатність вирішувати комплексні спеціалізовані задачі і практичні проблеми, пов'язані з розробкою автоматичних систем керування, оцінювати накопичений досвід; (K25) здатність застосовувати методи теорії автоматичного керування, системного аналізу та числових методів для розроблення математичних моделей електротехнічних та мехатронних комплексів, аналізу якості їх функціонування із використанням новітніх комп'ютерних технологій.

**Уміння:** (ПР06) застосовувати прикладне програмне забезпечення, мікроконтролери та мікропроцесорну техніку для вирішення практичних проблем у професійній діяльності; (ПР08) обирати і застосовувати придатні методи для аналізу і синтезу електромеханічних та електроенергетичних систем із заданими показниками; (ПР17) розв'язувати складні спеціалізовані задачі з проектування і технічного обслуговування електромеханічних систем, електроустаткування електричних станцій, підстанцій, систем та мереж; (ПР20) застосовувати методи оптимізації при проектуванні електротехнічних та мехатронних систем та комплексів (ПР21) використовувати, розраховувати та досліджувати цифрові та нелінійні регулятори технологічних процесів, використовуючи сучасне електротехнічне обладнання.

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

Навчальна дисципліна «Цифрові та нелінійні системи керування електротехнічними комплексами» викладається на основі знань та умінь, одержаних студентами під час вивчення кредитних модулів таких дисциплін як: «Загальна фізика», «Вища математика», «Теоретичні основи електротехніки» «Теорія автоматичного керування електротехнічних комплексів та мехатронних систем», тощо.

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

## **3. Зміст навчальної дисципліни**

### **- Розділ 1. Розділ 1. Основи дискретних систем:**

Тема 1.1. Вступ. Основні поняття та архітектура цифрових систем керування.

Тема 1.2. Дискретизація сигналів. Теорема Шеннона–Найквіста з точки зору інженерії. Вибір частоти дискретизації для електротехнічних об'єктів.

Тема 1.3. Математичний опис дискретних систем у z-області.

Тема 1.4. Різницеві рівняння. Як описати динаміку двигуна або кола у вигляді числових послідовностей.

Тема 1.5. Стійкість цифрових систем керування (ЦСК)

### **- Розділ 2. Синтез цифрових регуляторів:**

Тема 2.1. Методи дискретизації аналогових регуляторів.

Тема 2.2. Синтез цифрового регулятора для електротехнічних систем.

Тема 2.3. Практична реалізація та параметрична оптимізація цифрового ПД-регулятора.

Тема 2.4. Модальне керування. Синтез регуляторів стану в дискретному часі.

### **- Розділ 3. Розділ 3. Нелінійні системи:**

Тема 3.1. Нелінійні системи керування. Типові нелінійності в електротехнічних комплексах.

Тема 3.2. Лекція 11. Метод фазової площини в аналізі нелінійних систем.

Тема 3.3. Метод гармонійної лінеаризації. Критерій Гольдфарба.

Тема 3.4. Стійкість нелінійних систем за Ляпуновим.

**- Розділ 4. Сучасні та інтелектуальні технології:**

Тема 4.1. Керування у ковзних режимах.

Тема 4.2. Модельно-прогностичне керування.

Тема 4.3. Нечітке керування в електротехнічних комплексах.

Тема 4.4. Нейромережеві структури в керуванні електротехнічними комплексами.

Тема 4.5. Цифрові двійники та Hardware-in-the-Loop (HIL) моделювання

#### **4. Навчальні матеріали та ресурси**

##### **Базова література:**

1. Аналіз, синтез і проектування цифрових систем керування: навчальний посібник / С.М. Єсаулов, О.Ф. Бабічева; Міністерство освіти і науки України, Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова. - Харків : ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2018. - 150 сторінок : рисунки, таблиці.

2. Синтез нечітких регуляторів в системах автоматичного керування: навчальний посібник / О. В. Разживін, О. В. Суботін. – Краматорськ: ЦТРІ «Друкарський дім», 2017. – 212 с.

3. Цифрові системи керування електротехнічними комплексами: комп'ютерний практикум [Електронний ресурс]: навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра за освітньою програмою «Інжиніринг автоматизованих електротехнічних комплексів», «Інжиніринг інтелектуальних електротехнічних та мехатронних комплексів» / А.В. Босак. Л.Я. Кулаковський; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 5,29 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 52 с. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/41530>

4. Математичний апарат штучного інтелекту в електроенергетичних системах: підручник / В.В. Кирик. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2019. – 224 с.

5. Цифрове керування електромеханічними системами [Електронний ресурс]: підручник для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» за освітньою програмою «Електромеханічні системи автоматизації, електропривод та електромобільність» / С.В. Божко, С.М. Пересада, М.В. Печеник, О.І. Толочко; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 149 с.

6. Приймак Б.І. Нелінійні та дискретні системи автоматичного керування: Курс лекцій [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: Б. І. Приймак. – Електронні текстові дані (1 файл: 4,07 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 198 с.

##### **Допоміжна література:**

1. Dorf R. C., Bishop R. H. Modern Control Systems. – 14th ed. – Pearson, 2021. – 1104 p. – ISBN 978-0137306510.

2. Щокін В.П. Моделювання електромеханічних систем: навчальний посібник / В.П. Щокін [та ін.]. - Київ: Кондор, 2018. - 203 с.

3. 20. Tao F., Zhang M., Nee A. Y. C. Digital Twin Driven Smart Manufacturing. – Academic Press, 2019. – 350 p. – ISBN 978-0128176306.

4. Щур І. З. Енергоформуюче керування нелінійними електромеханічними системами з синхронними машинами на постійних магнітах: монографія / І.З. Щур, Ю.О. Білецький; Міністерство освіти і науки України, Національний університет "Львівська політехніка". - Львів: Видавництво Тараса Сороки, 2018. - 167 с.

5. 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.

6. Заяць В. М. Методи, алгоритми та програмні засоби для моделювання і аналізу динаміки складних об'єктів і систем на основі дискретних моделей: монографія / В.М. Заяць. - Львів : Видавництво "Новий Світ-2000", 2020. - 399 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]-[5]. 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)

#### Лекційні заняття

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (посилання на літературу)
1-2	<p><b>Лекція 1.</b> Тема 1.1. Вступ. Основні поняття та архітектура цифрових систем керування: Вступ. Предмет та завдання навчальної дисципліни. Типова структура цифрової системи керування (ЦСК). Рівні автоматизації та обробки даних. Поняття інтелектуального електротехнічного та мехатронного комплексу. <b>Література: [1, 3, 5, 6].</b></p> <p><b>Лекція 2.</b> Тема 1.2. Дискретизація сигналів. Теорема Шеннона–Найквіста з точки зору інженерії: Вибір частоти дискретизації для електротехнічних об'єктів. Математична модель процесу дискретизації. Теорема Шеннона–Найквіста та її інженерне трактування. Спектральний розгляд дискретизації. Відновлення сигналу та роль фіксатора нульового порядку (ZOH). Критерії вибору частоти дискретизації в електротехніці. <b>Література: [1, 3, 5, 6].</b></p>
3-4	<p><b>Лекція 3.</b> Тема 1.3. Математичний опис дискретних систем у z-області: Пряме та зворотне Z-перетворення. Основні теореми Z-перетворення. Дискретна передавальна функція неперервної частини з урахуванням фіксатора. <b>Література: [1, 3, 5, 6].</b></p> <p><b>Лекція 4.</b> Тема 1.4. Різницеві рівняння. Як описати динаміку двигуна або кола у вигляді числових послідовностей: Різницеві рівняння як основа цифрових алгоритмів. Програмна реалізація та структура циклу керування в реальному часі. <b>Література: [1, 3, 5, 6].</b></p>
5-6	<p><b>Лекція 5.</b> Тема 1.5. Стійкість цифрових систем керування (ЦСК): Поняття стійкості у дискретному світі. Аналіз стійкості дискретних систем. Критерій Джурі. Вплив періоду дискретизації T на розташування полюсів. Показники якості перехідних процесів у дискретних системах. <b>Література: [1, 3, 5, 6].</b></p> <p><b>Лекція 6.</b> Тема 2.1. Методи дискретизації аналогових регуляторів: Методи дискретизації неперервних систем (наближені перетворення). Проблема частотного викривлення. <b>Література: [1, 3, 5, 6].</b></p>
7-8	<p><b>Лекція 7.</b> Тема 2.2. Синтез цифрового регулятора для електротехнічних систем: Стратегія синтезу інтелектуального керування. Аналітичне обґрунтування показників якості для моделі Баттерворта. Властивість інваріантності показників якості при параметричній оптимізації. <b>Література: [1, 3, 5, 6].</b></p> <p><b>Лекція 8.</b> Тема 2.3. Практична реалізація та параметрична оптимізація цифрового ПІД-регулятора: Структура реального аналогового ПІД-регулятора. Параметрична</p>

	оптимізація за критерієм Баттерворта. Перехід до цифрової структури ПД-регулятор. Дискретна модель об'єкта другого порядку. <b>Література: [1, 3, 5, 6].</b>
9-10	<b>Лекція 9.</b> Тема 2.4. Модальне керування. Синтез регуляторів стану в дискретному часі: Від передавальних функцій до простору станів. Концепція модального керування. Керованість: умова можливості синтезу. Процедура синтезу модального регулятора за формулою Аккермана. Інтелектуальний максимум швидкодії. <b>Література: [1, 3, 5, 6].</b> <b>Лекція 10.</b> Тема 3.1. Нелінійні системи керування. Типові нелінійності в електротехнічних комплексах: Типові нелінійності. Квантування за рівнем як специфічна нелінійність цифрового середовища. Реалізація типових нелінійностей мовою С. <b>Література: [6].</b>
11-12	<b>Лекція 11.</b> Тема 3.2. Метод фазової площини в аналізі нелінійних систем: Поняття фазового простору та фазової траєкторії. Особливі точки: геометрія стійкості. Граничні цикли та автоколивання. <b>Література: [6].</b> <b>Лекція 12.</b> Тема 3.3. Метод гармонійної лінеаризації. Критерій Гольдфарба: Гіпотеза «фільтра» та ідея методу. Математичне визначення описової функції. Аналіз стійкості та критерій Гольдфарба. <b>Література: [6].</b>
13-14	<b>Лекція 13.</b> Тема 3.4. Стійкість нелінійних систем за Ляпуновим: Поняття стану рівноваги та типи стійкості. Прямий (другий) метод Ляпунова. Стійкість дискретних систем за Ляпуновим. <b>Література: [6].</b> <b>Лекція 14.</b> Тема 4.1. Керування у ковзних режимах: Концепція систем зі змінною структурою. Поняття ковзного режиму та поверхні перемикання. Синтез Sliding Mode контролера. Проблема «чартерингу». <b>Література: [2, 4].</b>
15-16	<b>Лекція 15.</b> Тема 4.2. Модельно-прогностичне керування: Чому MPC - це «вищий розум» автоматизації? Принцип «рухомого горизонту». Функція вартості. Врахування обмежень та обчислювальна складність. <b>Література: [2, 4].</b> <b>Лекція 16.</b> Тема 4.3. Нечітке керування (Fuzzy Control) в електротехнічних комплексах: Базові поняття: лінгвістичні змінні та функції належності. Структура нечіткого контролера. Логічний висновок та алгоритм Мамдані. <b>Література: [2, 4].</b>
17-18	<b>Лекція 17.</b> Тема 4.4. Нейромережеві структури в керуванні електротехнічними комплексами: Математична модель штучного нейрона. Структура багатошарової мережі (перцептрон). Нейронні мережі як ідентифікатори та регулятори. <b>Література: [2, 4].</b> <b>Лекція 18.</b> Тема 4.5. Цифрові двійники та Hardware-in-the-Loop (HIL) моделювання: Концепція цифрового двійника. Технологія Hardware-in-the-Loop (HIL) <b>Література: [2, 4].</b>

### Практичні заняття

№ з/п	Завдання, які виносяться на практичні заняття
<b>Практичне заняття 1</b>	Розрахунок характеристик АЦП та обґрунтування періоду дискретизації
<b>Практичне заняття 2</b>	Пряме та зворотне Z-перетворення. Розрахунок дискретних передавальних функцій
<b>Практичне заняття 3</b>	Аналіз стійкості дискретних систем за критерієм Джурі
<b>Практичне заняття 4</b>	Програмна реалізація різницевого рівняння для мехатронних систем 2-го порядку

<b>Практичне заняття 5</b>	Дослідження ефектів дискретизації та аліасингу в цифровому контурі керування
<b>Практичне заняття 6</b>	Дослідження методів дискретизації аналогових регуляторів у MATLAB/Simulink
<b>Практичне заняття 7</b>	Синтез та програмна реалізація цифрового ПІ-регулятора струму
<b>Практичне заняття 8</b>	Програмування алгоритмів Anti-windup (захист від насичення інтегратора)
<b>Практичне заняття 9</b>	МКР
<b>Практичне заняття 10</b>	Опис та моделювання електротехнічних систем у просторі станів
<b>Практичне заняття 11</b>	Синтез модального регулятора стану (Pole Placement)
<b>Практичне заняття 12</b>	Математичне моделювання типових нелінійностей електротехнічних комплексів
<b>Практичне заняття 13</b>	Побудова фазових портретів нелінійних систем керування
<b>Практичне заняття 14</b>	Розрахунок параметрів автоколивань за частотним критерієм Гольдфарба
<b>Практичне заняття 15</b>	Синтез та реалізація Sliding Mode контролера з обґрунтуванням стійкості за Ляпуновим
<b>Практичне заняття 16</b>	Синтез та дослідження модельно-прогностичного керування (MPC) для мехатронних систем
<b>Практичне заняття 17</b>	Синтез інтелектуальних контролерів на основі нечіткої логіки та нейронних мереж
<b>Практичне заняття 18</b>	Створення та діагностика комплексного цифрового двійника мехатронного вузла

## 6. Самостійна робота студента

*Самостійна робота студента передбачає:*

*підготовку до аудиторних занять – 36 год;*

*підготовку до модульної контрольної роботи – 2 год;*

*виконання РГР – 10 год;*

*підготовку до іспиту – 30 год.*

## 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 «Цифрові та нелінійні системи керування електротехнічними комплексами» 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; тести, які потрібно виконати за лекціями; 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 «Цифрові та нелінійні системи керування електротехнічними комплексами» 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 «Цифрові та нелінійні системи керування електротехнічними комплексами» на платформі «Сікорський».

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

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.

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

**Поточний контроль:** завдання в рамках практичного заняття (17 практичних занять × 2 балів = 34 бали), МКР (проводиться безпосередньо на практичному занятті, у присутності викладача, 10 балів), РГР (16 балів).

МКР виконується у вигляді тесту. По закінченню заняття тест закривається і не підлягає переписуванню або виконанню дома. Тест містить десять запитань і декілька відповідей до кожного з них, одна з яких вірна. Кожна правильна відповідь оцінюється в 1 бал.

Завдання в рамках практичного заняття оцінюються в 2 бали за такими критеріями:

- «відмінно» – повна відповідь (не менше 90 % потрібної інформації), надані відповідні обґрунтування та особистий погляд – 2 бали;
- «добре» – достатньо повна відповідь (не менше 75 % потрібної інформації), що виконана згідно з вимогами до рівня «умінь» або містить незначні неточності – 1,75 балів;
- «задовільно» – неповна відповідь (не менше 60 % потрібної інформації), виконана згідно з вимогами до «стереотипного» рівня та містить деякі помилки – 1,5 бали;
- «незадовільно» – незадовільна відповідь – 0 балів.

РГР оцінюється в 16 балів за такими критеріями:

- «відмінно» – повна відповідь (не менше 90 % потрібної інформації), надані відповідні обґрунтування та особистий погляд – 16 – 15 балів;
- «добре» – достатньо повна відповідь (не менше 75 % потрібної інформації), що виконана згідно з вимогами до рівня «умінь» або містить незначні неточності – 14 – 13 балів;
- «задовільно» – неповна відповідь (не менше 60 % потрібної інформації), виконана згідно з вимогами до «стереотипного» рівня та містить деякі помилки – 12 – 10 балів;
- «незадовільно» – незадовільна відповідь – 0 балів.

Вимоги до написання РГР надаються у вигляді методичних рекомендацій і розміщуються на платформі «Сікорський» та у системі «Електронний Кампус КПІ».

**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.

$$RC(\min) = 8 \cdot 2 + 10 + 4 = 30 \text{ балів}$$

**Семестровий контроль:** іспит. Умови допуску до семестрового контролю: виконані і зараховані практичні, МКР і РГР.

$$RC(\max) = 2 \cdot 17 + 10 + 16 = 60 \text{ балів}$$

$$RC(\min) = 2 \cdot 8 + 4 + 10 = 30 \text{ балів}$$

На іспиті студенти виконують письмову контрольну роботу. Екзаменаційна робота оцінюється у 40 балів. Контрольне завдання цієї роботи складається з двох теоретичних запитань з переліку, що наданий у додатку до силабусу, та задачі.

Кожне запитання оцінюється в 13 балів, а задача в 14 балів за такими критеріями:

- «відмінно» – повна відповідь (не менше 90 % потрібної інформації), надані відповідні обґрунтування та особистий погляд – 14 – 12 бали;
- «добре» – достатньо повна відповідь (не менше 75 % потрібної інформації), що виконана згідно з вимогами до рівня «умінь» або містить незначні неточності – 11 – 9 балів;
- «задовільно» – неповна відповідь (не менше 60 % потрібної інформації), виконана згідно з вимогами до «стереотипного» рівня та містить деякі помилки – 8 балів;

– «незадовільно» – незадовільна відповідь – 0 балів.

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)**

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 доц., к. т. н., доц. Босак Аллою Василівною

Ухвалено кафедрою автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів. Протокол №15 від 04.06.25 р.

Ухвалено Методичною комісією НН ІЕЕ. Протокол №30 від 25.06.25 р.

**Додаток до syllabusу освітнього компонента  
курсу «Цифрові та нелінійні системи керування електротехнічними комплексами»  
Перелік завдань, що виносяться на семестровий контроль**

1. Навести тимчасові і частотні форми дискретних моделей об'єктів управління.
2. Побудувати моделі часового ряду по реалізації впливу. Вибір інтервалів квантування за часом і рівнем.
3. Навести  $z$  - перетворення і його властивості.
4. Навести  $z$  - зображення керуючого впливу системи. Оператори тимчасового зсуву відліків сигналу і обчислення зворотних різниць.
5. Описати різницеve рівняння, що описує вільне і вимушений рух цифрової керованої системи.
6. Описати статичну характеристику перетворювача аналог-код цифровий системи і її лінеаризація.
7. Описати статичну характеристику перетворювача код-аналог цифрової системи і її лінеаризація.
8. Навести еквівалентні схеми АЦП і ЦАП.
9. Навести структурні схеми цифрової системи управління.
10. Визначити дискретну передавальну функцію і її властивості.
11. Визначити суму згортки і її  $z$ -перетворення.
12. Дати поняття цифровим рекурентним алгоритмам.
13. Визначити перехід від диференціального рівняння до еквівалентного різносного.
14. Навести основні методи побудови дискретних моделей об'єктів управління.
15. Навести використання графіка перехідного процесу об'єкта для побудови його дискретної моделі.
16. Дати визначення дискретним моделям інтегруючої ланки.
17. Дати визначення стійкості цифрової системи управління.
18. Навести ефекти квантування за рівнем в цифрових системах управління.
19. Навести періодичні режими в цифрових системах управління.
20. Навести основні цифрові моделі впливів, що обурюють. Формуючий фільтр.
21. Визначити методику побудови перехідного процесу цифрової системи управління по задаючому та збурюючому впливами.
22. Описати передавальну функцію цифрового ПД - регулятора.
23. Дати визначення узагальненому лінійному цифровому регулятору.
24. Дати визначення цифровому компенсаційному регулятору.
25. Дати визначення аперіодичному регулятору для ЦСУ без запізнювання в контурі.
26. Дати визначення аперіодичному регулятору ЦСУ з запізненням в контурі.
27. Описати регулятор з мінімальною узагальненої дисперсією.
28. Визначити методику оптимізації цифрових систем управління методом Грама-Шмідта.
29. Виконати імітаційне моделювання стохастичного об'єкта управління.
30. Виконати імітаційне моделювання цифрової керованої системи.
31. Визначити залежність якості управління цифрових систем від величин інтервалу квантування за рівнем і часу.
32. Які нелінійності називаються суттєвими?
33. У чому полягають принципові відмінності між лінійними та нелінійними САК?
34. Покажіть графічно та назвіть типові статичні однозначні нелінійності.
35. Зобразіть графічно та наведіть назви типових статичних неоднозначних нелінійностей.
36. Дайте визначення та наведіть приклади динамічних нелінійностей.
37. Наведіть приклади природних нелінійностей, що характерні для електромеханічних об'єктів.
38. Назвіть точні методи дослідження нелінійних САК.
39. Поясніть сутність методу фазового простору.
40. Що таке зображувальна точка та фазова траєкторія?
41. Які величини відкладаються по осях координат фазової площини?

42. Для лінійної ланки 2-го порядку зобразіть фазові траєкторії, що відповідають усім варіантам коренів характеристичного рівняння ланки.
43. Що таке фазовий портрет системи?
44. Які точки на фазових портретах САК називаються особливими?
45. Наведіть перелік усіх особливих точок на фазових портретах лінійної ланки 2-го порядку.
46. Які особливі лінії властиві фазовим портретам нелінійних САК?