



МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОХІМІЧНИХ ТА ТЕПЛОВИХ ПРОЦЕСІВ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ ВОДНЮ

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Другий (магістерський)</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>Вибіркова</i>
Форма навчання	<i>Очна(денна) / заочна / прискорена</i>
Рік підготовки, семестр	<i>1 курс, весняний семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>4,0 кредиту / 120 годин</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Залік</i>
Розклад занять	<i>http://rozklad.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 дослідження електрохімічних та теплових процесів при виробництві водню є розроблення методів дослідження сучасних електрохімічних 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 електрохімічних та теплових процесів при виробництві водню різної складності та створення ефективних алгоритмів управління для їх дослідження на практиці.

Програмні результати навчання: (К11) здатність вирішувати практичні задачі із застосуванням систем автоматизованого проектування і розрахунків (САПР); (К19) Усвідомлення необхідності підвищення ефективності електроенергетичного, електротехнічного та електромеханічного устаткування; (К22) 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; (К25) Здатність застосовувати методи теорії автоматичного керування, системного аналізу та числових методів для розроблення математичних моделей електрохімічних та теплових процесів при виробництві водню, аналізу якості їх функціонування із використанням новітніх комп'ютерних технологій; (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; (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 електрохімічних та теплових процесів при виробництві водню» викладається на основі знань та умінь, одержаних студентами під час вивчення кредитних модулів таких дисциплін як: «Фізика», «Хімія», «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 електрохімічних та теплових процесів при виробництві водню», 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», «Моделювання електротехнічних та мехатронних систем» тощо.

3. Зміст навчальної дисципліни

Розділ 1. Основні положення дисципліни. Загальна структура електрохімічних 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 електропривод» 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" / О. 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 електрохімічних 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 електрохімічних 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 інтерполювання 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 ПІД-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

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

6. Самостійна робота студента/аспіранта

В якості індивідуального семестрового завдання, згідно навчального плану, студенти виконують модульну роботу (МКР)

Питання до МКР

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.

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 електрохімічних та теплових процесів при виробництві водню» 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 розрахунково-графічної роботи; перелік теоретичних питань та практичних задач до іспиту розміщено на платформі «Сікорський» та у системі «Електронний Кампус КПІ».

Під час проходження курсу «Моделювання електрохімічних та теплових процесів при виробництві водню» 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 електрохімічних та теплових процесів при виробництві водню» 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 та 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.);

– дві контрольні роботи (одна модульна контрольна робота поділяється на дві контрольні роботи тривалістю по одній академічній годині);

2. Критерії нарахування балів:

2.1. Робота на практичних заняттях:

Ваговий бал – 4. Максимальна кількість балів на всіх практичних заняттях дорівнює:
 $25 \text{ балів} \times 2 \text{ відп.} = 50 \text{ балів.}$

Критерії оцінки відповіді на практичних заняттях	бали
Повна вичерпна відповідь	25
Правильна відповідь з деякими недоліками	15
Неповна відповідь із суттєвими недоліками	5
Досить слабка, або не вірна відповідь	0

2.2. Модульний контроль

Ваговий бал – 25. Максимальна кількість балів за 2 одногодинні модульні контрольні роботи (МКР) дорівнює: $25 \text{ бали} \times 2 \text{ МКР} = 50 \text{ балів.}$

Критерії оцінки виконання МКР	бали
повна відповідь (не менше 90 % потрібної інформації)	25
достатньо повна відповідь (не менше 75 % потрібної інформації), або повна відповідь з незначними неточностями	15
неповна відповідь (не менше 60 % потрібної інформації) та незначні помилки	5
незадовільна відповідь (не відповідає вимогам на «задовільно»)	0

Заохочувальні бали (не більше 10 балів)

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: $R = 50 + 50 = 100$ балів.

За результатами навчальної роботи за перші 7 тижнів «ідеальний студент» має набрати 50 балів. На першій атестації (8-й тиждень) студент отримує «атестовано», якщо його поточний рейтинг не менше 25 балів.

За результатами 13 тижнів навчання «ідеальний студент» має набрати 100 балів. На другій атестації (14-й тиждень) студент отримує «атестовано», якщо його поточний рейтинг не менше 50 балів.

Умови допуску до заліку: 50 % від R).

Сума балів переводиться до залікової 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

9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

В якості семестрового контролю, згідно навчального плану, студенти складають залік. Залікова оцінка виставляється студенту згідно кількості набраних балів. В разі незгоди студента із заліковою оцінкою він має право скласти залікову контрольну роботу з метою підвищення підсумкової оцінки.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

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

Ухвалено: кафедрою АЕМК (протокол № 18 від 24.06.2024 р.)

Погоджено: Методичною комісією НН ІЕЕ (протокол № 21 від 25.06.2024 р.)