

**Програма підготовки магістрів у галузі знань 14 - «Електрична інженерія»  
зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та  
електромеханіка»**

**«Дослідження операцій електромеханічних систем»**

**390 год. / 13 кредитів ЕКТС  
(45 год. лекцій, 45 год. практичних робіт)**

**Навчальний контент**

**Змістовий модуль 1. Варіаційні методи**

**Тема 1. Класичні варіаційні методи.** Вступ до предмету. Поняття про простір стану. Означення функціонала. Загальна постановка задачі оптимального керування. Класифікація задач оптимального керування. Вивід рівнянь Ейлера. Задачі з рухомими кінцями. Умови трансверсальності. Рівняння Ейлера-Лагранжа та їх канонічна форма. Умови Вейерштрасса-Ердмана. Рівняння Гамільтона-Якобі та відповідна процедура розв'язання задач. Квадратична форма цільової функції. Критерій Сильвестра

**Тема 2. Некласичні варіаційні методи.** Метод динамічного програмування. Принцип оптимальності та диференціальне рівняння Беллмана. Достатня умова оптимальності. Принцип максимуму Понтрягіна. Задача про швидкодію зображаючої точки. Поняття ковзного процесу та умова його існування. Нормальна форма рівнянь стану та перехід від структурної схеми до нормальних рівнянь стану. Матрична передавальна функція системи. Оптимальна швидкодія лінійних об'єктів. Теорема про  $n$  інтервалів. Лінійна двохточечно-крайова задача. Перетворення Ріккати та визначення оптимального закону керування.

**Тема 3. Синтез оптимальних лінійних систем за квадратичним показником якості.** Означення та твердження про керованість та спостережність лінійних систем. Перетворення подібності та її наслідки. Канонічні форми рівнянь стану. Синтез ПІ-регулятора. Синтез оптимальної слідкуючої системи за квадратичним показником якості

## **Змістовий модуль 2. Методи простору стану.**

**Тема 4. Модальне керування зі зворотним зв'язком за станом.** Синтез регуляторів з бажаними показниками якості. Алгоритм розрахунку коефіцієнтів модального регулятора. Формула Аккермана. Стандартні характеристичні поліноми замкнених систем та їх застосування до синтезу модального регулятора. Модальне керування при вхідних впливах.

**Тема 5. Модальне керування зі зворотним зв'язком за станом.** Спостерігач повного порядку (означення, теорема). Синтез спостерігача повного порядку з модальним регулятором. Принцип роздільності. Алгоритм синтезу спостерігача повного порядку з модальним регулятором. Приклад синтезу спостерігача повного порядку з модальним регулятором. Розширений спостерігач. Спостерігач пониженого порядку.

**Тема 6. Синтез спостерігача з модальним регулятором для комплектного електропривода.** Диференціальні рівняння електропривода з модальним регулятором. Вибір типу стандартного полінома та знаходження виразів для коефіцієнтів модального регулятора. Синтез спостерігача. Структурна схема електропривода з підпорядковим регулюванням та оптимальна настройка контурів системи. Настройка регулятора контуру струму на технічний оптимум. Настройка регулятора контуру швидкості на технічний і симетричний оптимуми.

## **Змістовий модуль 3. Лінійне та нелінійне програмування.**

**Тема 7. Лінійне програмування.** Загальна постановка задачі лінійного програмування. Канонічна задача лінійного програмування. Зведення задач лінійного програмування до канонічного вигляду та графічний метод розв'язання. Симплекс-метод та його алгоритм. Метод штучного базису.

**Тема 8. Нелінійне програмування.** Загальна постановка задачі нелінійного програмування. Класичний метод знаходження безумовного екстремуму. Визначники Гессе. Метод множників Лагранжа. Чисельний метод Гаусса-Зейделя. Метод градієнта та найшвидшого спуску.

## **Змістовий модуль 4. Аналіз систем і синтез оптимальних параметрів при випадкових впливах.**

**Тема 9. Випадкові величини і процеси та їх характеристики.** Випадкові величини та їх характеристики. Випадкові процеси та їх характеристики. Деякі типи випадкових процесів. Вагові функції лінійних систем. Визначення передавальної функції за ваговою функцією.

**Тема 10. Дослідження точності лінійних систем при випадкових впливах.** Перетворення випадкових процесів лінійними системами у сталому та перехідному режимах. Загальні методи дослідження точності лінійних систем. Визначення середнє квадратичної помилки лінійних систем у сталому та перехідному режимах. Синтез параметрів системи за мінімумом середнє квадратичної помилки.

**Тема 11. Вінеровська оптимальна фільтрація.** Постановка вінеровської задачі оптимальної фільтрації. Рівняння Вінера-Хопфа. Формуючий фільтр. Факторизація спектральній густини. Фільтр Вінера.

**Тема 12. Синтез фільтра Калмана-Б'юсі та стохастичної оптимальної системи.** Постановка несінгулярної (не виродженій) задачі оптимальної фільтрації при білих шумах. Фільтри Калмана-Б'юсі при кольоровому шумі об'єкту та кольоровому шумі спостереження. Сингулярна (вироджена) задача оптимального оцінювання. Лінеаризований фільтр Калмана-Б'юсі. Стохастичне оптимальне керування та рівняння Беллмана. Стохастична оптимальна лінійна система за повною та неповною інформацією про стан. Принцип роздільності.

**Програма підготовки магістрів у галузі знань 14 - «Електрична інженерія» зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»**

**«Дослідження операцій електромеханічних систем»**

**390 год. / 13 кредитів ЕКТС  
(45 год. лекцій, 45 год. практичних робіт)**

**Теми практичних занять**

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Класичні варіаційні методи.	3
2	Некласичні варіаційні методи.	4
3	Синтез оптимальних лінійних систем за квадратичним показником якості.	4
4	Модальне керування зі зворотним зв'язком за станом.	3
5	Синтез спостерігачів повного, розширеного та пониженого порядку.	4
6	Синтез спостерігача з модальним регулятором для комплектного електропривода.	4
7	Лінійне програмування.	3
8	Нелінійне програмування.	4
9	Випадкові величини і процесі та їх характеристики.	4
10	Дослідження точності лінійних систем при випадкових впливах.	4
11	Вінеровська оптимальна фільтрація.	4
12	Синтез фільтра Калмана-Б'юсі та стохастичної оптимальної системи.	4
	Разом	45

## Завдання для самостійної роботи

### Програма підготовки магістрів у галузі знань 14 - «Електрична інженерія» зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

#### «Дослідження операцій електромеханічних систем»

**390 год. / 13 кредитів ЕКТС**  
**(45 год. лекцій, 45 год. практичних робіт)**

Самостійна робота з курсу «Дослідження операцій електромеханічних систем» включає такі форми:

- опрацювання лекційного матеріалу;
- підготовка до практичних занять;
- самостійна робота з літературою та джерелами для опрацювання актуальних питань курсу.

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1.	Класичні варіаційні методи.	10
2.	Некласичні варіаційні методи.	10
3.	Синтез оптимальних лінійних систем за квадратичним показником якості.	20
4.	Модальне керування зі зворотним зв'язком за станом.	20
5.	Синтез спостерігачів повного, розширеного та пониженого порядку.	20
6.	Синтез спостерігача з модальним регулятором для комплектного електропривода.	20
7.	Лінійне програмування.	20
8.	Нелінійне програмування.	20
9	Етап 1 курсового проектування	20
10	Етап 2 курсового проектування	20
11	Етап 3 курсового проектування	20
12	Етап 4 курсового проектування	20
13.	Випадкові величини і процеси та їх характеристики.	20
14.	Дослідження точності лінійних систем при випадкових впливах.	20
15.	Вінеровська оптимальна фільтрація.	20
16.	Синтез фільтра Калмана-Б'юсі та стохастичної оптимальної системи.	20
	Разом	300

## **Завдання для поточного та підсумкового контролю**

### **Програма підготовки магістрів у галузі знань 14 - «Електрична інженерія» зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»**

#### **«Дослідження операцій електромеханічних систем»**

**390 год. / 13 кредитів ЕКТС  
(45 год. лекцій, 45 год. практичних робіт)**

#### **Питання до 1-го модуля**

1. Надати загальну постановку задач оптимального керування.
2. Вивести рівняння Ейлера.
3. Записати та пояснити умови трансверсальності.
4. Записати та пояснити рівняння Ейлера-Лагранжа.
5. Записати та пояснити канонічні рівняння Ейлера-Лагранжа.
6. Записати та пояснити умови Вейєрштрасса-Ердмана.
7. Вивести рівняння Гамільтона-Якобі.
8. Навести процедуру розв'язання задач за підходом Гамільтона-Якобі
9. Надати означення квадратичній формі.
10. Сформулювати критерій Сильвестра.
11. Сформулювати принцип оптимальності та вивести диференціальне рівняння Беллмана.
12. Сформулювати достатню умову оптимальності.
13. Сформулювати принцип максимуму Понтрягіна.
14. Надати поняття та записати умову існування ковзного процесу.
15. Записати та пояснити нормальну форму рівнянь стану та виходу.
16. Які перетворення потрібно виконати, щоб перейти від структурної схеми до нормальних рівнянь стану?
17. Вивести матричну передавальну функцію системи.
18. Записати характеристичний поліном матричній передавальній функції

системи.

19. Сформулювати теорему про  $n$  інтервалів.
20. Вивести рівняння лінійній двохточечно-крайовій задачі.
21. Виконати перетворення Ріккаті для двохточечно-крайовій задачі.
22. Записати та пояснити вираз щодо оптимального закону керування для двохточечно-крайовій задачі.
23. Вивести вираз для оптимального ПІ-регулятора.
24. Виконати синтез оптимальної слідкуючої системи.
25. Перетворювання подібності системи, яка описується матричними рівняннями

### **Питання до 2-го модуля**

1. Надати означення та твердження про керованість та спостережність лінійних систем.
2. У чому полягає перетворення подібності? Навести наслідки перетворення подібності.
3. Записати та пояснити канонічні форми рівнянь стану.
4. Виконати синтез регуляторів з бажаними показниками якості.
5. Навести алгоритм розрахунку коефіцієнтів модального регулятора.
6. Навести та пояснити формулу Аккермана.
7. Навести та охарактеризувати основні види стандартних характеристичних поліномів замкнутих систем.
8. Як використовуються стандартні характеристичні поліноми замкнутих систем для синтезу модального регулятора?
9. Виконати синтез модального керування при вхідних впливах.
10. Надати означення та доказати теорему про спостерігач повного порядку.
11. Довести принцип роздільності щодо синтезу спостерігачів повного порядку.
12. Виконати синтез спостерігача повного порядку з модальним

- регулятором.
13. Навести структурну схему спостерігача повного порядку.
  14. Навести алгоритм синтезу спостерігача повного порядку з модальним регулятором.
  15. Виконати синтез розширеного спостерігача.
  16. Виконати синтез спостерігача пониженого порядку.
  17. Навести структурну схему спостерігача пониженого порядку.
  18. Записати диференціальні рівняння електропривода з модальним регулятором.
  19. Навести методику розрахунку коефіцієнтів модального регулятора системи керування електропривода.
  20. Навести методику синтезу спостерігача системи керування електропривода.
  21. Навести структурну схему електропривода з підпорядковим регулюванням.
  22. Виконати оптимальну настройку регуляторів системи підпорядкового регулювання комплектного електропривода.
  23. Навести методику синтезу спостерігача системи керування електропривода.
  24. Навести структурну схему електропривода з підпорядковим регулюванням.
  25. Виконати оптимальну настройку регуляторів системи підпорядкового регулювання комплектного електропривода.

### **Питання до 3-го модуля**

1. Навести загальну постановку задачі лінійного програмування.
2. Навести алгоритм розв'язання задач лінійного програмування графічним методом.
3. Розв'язати задачу лінійного програмування графічним методом.
4. Навести канонічну задачу лінійного програмування.



5. Які перетворення потрібно виконати, щоб привести будь-яку задачу лінійного програмування до канонічної форми?
6. Як знаходиться допустимий базисний розв'язок канонічної задачі лінійного програмування?
7. Сформулювати теореми про оптимальність допустимого базисного розв'язку що до симплекс-методу.
8. Навести алгоритм симплекс-методу.
9. Розкрити суть методу штучного базису.
10. Розв'язати задачу лінійного програмування методом симплекс-таблиць.
11. Як використовуються визначники Гессе для знаходження максимуму і мінімуму функцій багатьох змінних?
12. Розкрити суть методу множників Лагранжа.
13. Розкрити суть чисельного методу Гаусса-Зейделя.
14. Розкрити суть методу градієнта.
15. Розкрити суть методу найшвидшого спуску

#### **Питання до 4-го модуля**

1. Надати означення випадкових величин та навести їх характеристики.
2. Надати означення випадкових процесів та навести їх характеристики.
3. Навести основні типи випадкових процесів.
4. Надати постановку несінгулярної задачі оптимальної фільтрації
5. Навести означення вагові функції лінійних систем.
6. Як використовуються вагові функції для визначення передавальних функцій?
7. Визначити математичне сподівання та кореляційну функцію при перетворенні випадкових процесів лінійними системами у перехідному режимі.
8. Визначити математичне сподівання та кореляційну функцію при перетворенні випадкових процесів лінійними системами у сталому режимі.

9. Навести та охарактеризувати загальні методи дослідження точності лінійних систем.
10. Визначити середнє квадратичну помилку лінійних систем у сталому режимі.
11. Визначити середнє квадратичну помилку лінійних систем у перехідному режимі.
12. Виконати синтез параметрів системи за мінімумом середнє квадратичної помилки.