

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ МИХАЙЛА ОСТРОГРАДСЬКОГО
ІНСТИТУТ ЕЛЕКТРОМЕХАНІКИ, ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ
І СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ



МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ЩОДО САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ
З НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ
«МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ ОПТИМІЗАЦІЇ
ТА СИСТЕМИ ОПТИМАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ»
ДЛЯ СТУДЕНТІВ ДЕННОЇ ТА ЗАОЧНОЇ ФОРМ НАВЧАННЯ
ЗІ СПЕЦІАЛЬНОСТІ
141 «ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА
ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА»
ОСВІТНЬО-ПРОФЕСІЙНОЇ ТА ОСВІТНЬО-НАУКОВОЇ ПРОГРАМ
«ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНІ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ
ТА ЕЛЕКТРОПРИВОД»

КРЕМЕНЧУК 2018

Методичні вказівки щодо самостійної роботи з навчальної дисципліни «Математичні методи оптимізації та системи оптимального керування» для студентів денної та заочної форм навчання зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» з освітньо-професійної та освітньо-наукової програм «Електромеханічні системи автоматизації та електропривод».

Укладачі: к.т.н., доцент Ю. В. Зачепа,

асистент Н. В. Зачепа

Рецензент к.т.н., доцент В. О. Огарь

Кафедра систем автоматичного управління і електроприводу

Затверджено методичною радою КрНУ імені Михайла Остроградського

Протокол № “___” від “___” _____ 2018 р.

Голова методичної ради _____ проф. В. В. Костін

ЗМІСТ

Вступ	4
1 Структура навчальної дисципліни.....	6
2 Перелік тем і питань для самостійного опрацювання.....	7
3 Питання до модульного контролю	13
Список літератури	16

ВСТУП

Мета: вивчення методів, принципів побудови оптимальних систем регулювання; дослідження систем електроприводу у різних фазових просторах; систем керування, синтезованих на основі методів класичного варіаційного числення; систем керування, синтезованих на основі принципу симетрії та аналітичного конструювання регуляторів; дослідження адаптивних систем керування з пристроями спостережної ідентифікації.

Завдання: змістовні постановки задач оптимізації, математичні принципи оптимізації структур систем керування і алгоритмів керування, методи розв'язування задач оптимізації і способи їх реалізації за допомогою обчислювальної техніки; забезпечення знань, які можуть бути використані як під час виконання дипломного проекту, так і в майбутній професійній діяльності.

В результаті вивчення дисципліни студент повинен:

знати:

- математичні методи розв'язання задач оптимального регулювання;
- класифікацію і принцип побудови екстремальних і адаптивних систем;
- основи теорії оптимального регулювання електроприводами постійного і змінного струму;

вміти:

- проводити синтез та побудову систем оптимального керування;
- математично описати систему з контурами оптимізації або адаптації, обґрунтувати її застосування і виконати необхідні дослідження.

1 СТРУКТУРА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин			
	Лекції		Самостійна робота	
	ОНП	ОПП	ОНП	ОПП
1	2		3	
Модуль 1				
Змістовий модуль 1.				
Основні поняття оптимального керування. Критерії оптимальності.				
Тема 1. Основні положення теорії оптимального керування. Зміст курсу, його зв'язок з іншими дисциплінами. Структура і призначення ММОСОК. Оптимізація. Задачі оптимального керування.	2	2	2	2
Тема 2. Чисельні методи розв'язання оптимізаційних задач. Програми прямих та раціональних методів розв'язання систем лінійних алгебраїчних рівнянь. Метод прогонки. Ітераційний метод Зейделя.	2	2	18	16
Тема 3. Програмування чисельних методів. Елементи програмування у Mathcad. Програмні модулі або програмні функції. Програми пошуку та уточнення коренів нелінійних рівнянь. Програми інтерполяції залежностей. Частково-квадратична інтерполяція. Інтерполяція параболічними сплайнами.	4	4	18	16
Разом за змістовим модулем 1:	10	10	38	34
Змістовий модуль 2.				
Класичні методи розв'язання задач оптимізації.				
Тема 4. Методи розв'язання задач оптимального керування. Методи рішення варіаційних задач. Функція Гамільтона. Рівняння Ейлера-Лагранжа.	2	2	16	12
Тема 5. Аналітичне конструювання регуляторів (АКР). АКР на основі метода динамічного програмування в постановці Лєтова.	4	2	16	12
Разом за змістовим модулем 2:	6	4	32	24
Змістовий модуль 3.				
Новітні методи розв'язання задач оптимізації.				
Тема 6. Структурно-алгоритмічний синтез систем оптимального керування на основі принципу симетрії. Концепція зворотних задач динаміки. Властивості симетрії систем автоматичного керування. Принцип симетрії та його модифікації.	4	4	12	12

Тема 7. Системи оптимального керування, стійкі при необмеженому збільшенні коефіцієнта підсилення. Методи синтезу високоякісних систем керування. Релейний регулятор як еквівалент лінійному підсилювачу з необмеженим коефіцієнтом підсилення. Ковзний режим роботи релейної системи керування.	4	4	20	16
Разом за змістовим модулем 3:	8	8	32	28
Змістовний модуль 4. Адаптивні та екстремальні системи керування електромеханічними об'єктами.				
Тема 8. Адаптація й адаптивне регулювання. Структура систем автоматичного керування при адаптивному регулюванні. Класифікація адаптивних систем.	2	2	18	18
Тема 9. Системи екстремального керування (СЕК). Класифікація екстремальних систем. Принципи побудови екстремальних систем. СЕК з запам'ятовуванням екстремуму. СЕК крокового типу. СЕК з зовнішнім генератором пошукових сигналів.	2	2	20	18
Тема 10. Системи зі спостерігачами стану (СС). Структурний і параметричний синтез систем зі спостерігачами стану. Принцип модального керування. Стандартні форми розподілу коренів характеристичного рівняння.	4	4	20	18
Разом за змістовим модулем 4:	8	8	58	54
Усього годин	32	30	160	140

2 ПЕРЕЛІК ТЕМ І ПИТАНЬ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО ОПРАЦЮВАННЯ

Тема 1. Основні положення теорії оптимального керування.

Траєкторія руху об'єкта. Критерії оптимальності.

Питання для самоперевірки

1. Дайте характеристику геометричному змісту поняття «траєкторія руху» об'єкта.
2. Охарактеризуйте основні задачі оптимізації.
3. Наведіть узагальнені критерії оптимальності за точністю регулювання та мінімуму використання енергії.
4. Наведіть математичний опис об'єкта оптимізації, представлений в діагональній формі Джордана.
5. Наведіть математичний опис об'єкта оптимізації, представлений в першій канонічній формі.
6. Дайте визначення поняттям «керуваність» та «спостережливість» об'єкта керування.

Література: [1, с. 11–27; 2, с. 4–8; с. 161–183; 3, с. 3–10].

Тема 2. Чисельні методи розв'язання оптимізаційних задач.

Програми інтерполяції залежностей. Частково-квадратична інтерполяція. Інтерполяція параболічними сплайнами.

Питання для самоперевірки

1. Дайте характеристику лінійній інтерполяції методом оціночної функції.
2. Дайте характеристику круговій інтерполяції методом оціночної функції.
3. Наведіть узагальнений алгоритм інтерполяції та охарактеризуйте відмінності в реалізації лінійної та кругової інтерполяцій.
4. Дайте характеристику лінійній інтерполяції методом цифрових диференціальних аналізаторів.
5. Дайте характеристику методам частково-квадратичної інтерполяції.

6. Дайте характеристику інтерполяції параболічними сплайнами.

Література: [1, с. 43–66; 2, с. 30–42].

Тема 3. Програмування чисельних методів.

Метод прогонки. Ітераційний метод Зейделя.

Питання для самоперевірки

1. Розкрийте суть метода прогонки (алгоритму Томаса).
2. Розкрийте суть ітераційного методу Зейделя.
3. Розкрийте суть чисельних методів: характеристика, поняття «похибка розв'язку» та «похибка округлення».
4. Охарактеризуйте чисельні методи розв'язання систем лінійних рівнянь великої розмірності.
5. Охарактеризуйте чисельні методи розв'язання систем нелінійних рівнянь – метод хорд та метод Ньютона.
6. Охарактеризуйте чисельні методи диференціювання.
7. Охарактеризуйте чисельні методи інтегрування.

Література: [1, с. 67–130; 2, с. 9–30].

Тема 4. Методи розв'язання задач оптимального керування.

Принцип максимуму Понтрягіна. Метод динамічного програмування Беллмана. Прямий метод та теореми Ляпунова.

Питання для самоперевірки

1. Охарактеризуйте методику побудови систем керування з використанням принципу максимуму Понтрягіна.
2. Вкажіть область застосування методу динамічного програмування Беллмана.
3. Вкажіть особливості керування автономною системою з використанням принципу максимуму Понтрягіна.
4. Охарактеризуйте вирішення задач керування з рухомими кінцями фазової траєкторії з використанням принципу максимуму Понтрягіна.

5. Вкажіть особливості оптимального керування нелінійною системою з використанням принципу максимуму Понтрягіна.

6. Вкажіть особливості керування неавтономною системою з використанням принципу максимуму Понтрягіна.

Література: [3, с. 39–46; 4, с. 26–29; 9, с. 51–64.].

Тема 5. Аналітичне конструювання регуляторів (АКР).

АКР для лінійних стаціонарних об'єктів в постановці Лєтова. Особливості розв'язання задачі АКР, методи Красовського та Барбашина.

Питання для самоперевірки

1. Дайте характеристику перевагам та недолікам систем керування, синтезованих методом АКР.

2. Охарактеризуйте основні етапи структурного синтезу оптимальної САУ електроприводом методом АКР.

3. Поясніть принципи побудови структурних схем електроприводу постійного струму з САК, що синтезована за методом АКР.

4. Поясніть принцип роботи релейних регуляторів оптимальної САУ.

5. Наведіть класифікацію задач керування в теорії оптимальних систем згідно концепції збуреного-незбуреного руху.

6. Охарактеризуйте процедуру аналітичного конструювання регуляторів в постановці Лєтова.

Література: [9, с. 65–71; 12, с. 32–54.].

Тема 6. Структурно-алгоритмічний синтез систем оптимального керування на основі принципу симетрії.

Модифікація принципу симетрії та розв'язання задачі аналітичного конструювання регуляторів.

Питання для самоперевірки

1. Охарактеризуйте принципи побудови систем керування з використанням властивостей симетрії.

2. Вкажіть недоліки розімкнених та замкнених системах автоматичного керування побудованих за принципом симетрії.

3. Сформулюйте загальні положення визначення керуючих впливів, що забезпечують рух системи згідно назначеної траєкторії, з використанням властивостей симетрії.

4. Охарактеризуйте принципи побудови систем керування з використанням властивостей симетрії для стаціонарних об'єктів з замороженими параметрами при відсутності зовнішніх збурень.

5. Охарактеризуйте принципи побудови систем керування з використанням властивостей симетрії для безінерційної замкнених систем.

6. Охарактеризуйте принципи побудови систем керування з використанням властивостей симетрії для замкнених систем з реально обмеженим керуючим впливом.

Література: [3, с. 126–185; 4, с.48–97; 9, с.84–106.].

Тема 7. Системи оптимального керування, стійкі при необмеженому збільшенні коефіцієнта підсилення.

Принципи побудови систем керування, стійких при необмеженому збільшенні коефіцієнта підсилення.

Питання для самоперевірки

1. Охарактеризуйте сучасні методи синтезу високоякісних систем керування.

2. Поясніть принципи побудови систем керування, стійких при необмеженому збільшенні коефіцієнта підсилення.

3. Вкажіть умови існування стійкої роботи систем керування при необмеженому збільшенні коефіцієнта підсилення.

4. Дайте поняття «ковзний режим» та охарактеризуйте його роботу.

5. Вкажіть особливості реалізації необмежено великого коефіцієнта підсилення для лінійних систем.

6. Вкажіть особливості реалізації необмежено великого коефіцієнта підсилення в нелінійних системах з розривним керуванням.

7. Охарактеризуйте умови існування ковзного режиму релейних систем оптимального керування.

Література: [9, с. 104–111; 12, с. 186–203.].

Тема 8. Адаптація й адаптивне регулювання.

САК з адаптивним контуром регулювання струму. САК з адаптивним контуром регулювання швидкості.

Питання для самоперевірки

1. Дайте визначення поняттям: адаптація, адаптивне регулювання, чутливість, нульова чутливість.
2. Наведіть класифікацію, умови та область застосування адаптивних систем керування.
3. Приведіть методику синтезу САК з адаптивним контуром струму.
4. Приведіть методику синтезу САК з адаптивним контуром швидкості.
5. Охарактеризуйте властивості адаптивної САК з нульовою чутливістю.

Література: [1 с. 306–322, 12 с. 236–309.].

Тема 9. Системи екстремального керування (СЕК).

Якість роботи екстремальних систем. Приклади екстремальних систем.

Питання для самоперевірки

1. Поясніть принцип роботи автоколивальної екстремальної системи.
2. Поясніть принцип роботи екстремальної системи керування з запам'ятовуванням екстремуму.
3. Поясніть принцип роботи екстремальної системи керування крокового типу: з одним та двома пробними кроками.
4. Поясніть принцип роботи екстремальної системи керування з зовнішнім генератором пошукових сигналів.
5. Охарактеризуйте метод градієнта як метод синтезу керуючого впливу системи для досягнення точки екстремуму.
6. Охарактеризуйте метод крокового пошуку як метод синтезу керуючого

впливу системи для досягнення точки екстремуму.

Література: [8, с. 522–543; 6, с. 423–461; 22, с. 232–277.].

Тема 10. Системи зі спостерігачами стану (СС).

САК з СС повного порядку. САК зі спостерігачем пониженого порядку або редуційованим СС.

Питання для самоперевірки

1. Охарактеризуйте призначення пристрою спостережної ідентифікації.
2. Вкажіть як залежить синтез спостерігача стану від форми розподілу коренів характеристичного рівняння.
3. Наведіть основні особливості синтезу спостерігачів стану.
4. Наведіть порівняльну характеристику СС повного порядку та редуційованим СС.
5. Охарактеризуйте яким чином змінюється класична система керування при введенні спостерігачів стану.

Література: [1, с. 165–187; 3, с. 289–324.].

3 ПИТАННЯ ДО МОДУЛЬНОГО КОНТРОЛЮ

Змістовний модуль 1

1. Основні поняття оптимального керування.
2. Ціль та критерії оптимізації.
3. Класифікація задач оптимізації.
4. Поняття про керованість об'єкта.
5. Поняття об'єкту, що повністю та частково спостерігається.
6. Обмеження фазових координат і координат керування. Види обмежень, приклади.
7. Функціонал як критерій оптимізації.
8. Критерій оптимальності за швидкодією. Область застосування.
9. Квадратично-інтегральна оцінка якості оптимізації. Область застосування.
10. Критерій якості за середнім значенням похибки системи або середнім значенням квадрату вихідної координати. Область застосування.
11. Взаємна кореляція між координатами входу та збурень як критерій оптимальності. Область застосування.
12. Оптимізація за похибкою координат руху системи з використанням вагових коефіцієнтів. Область застосування.
13. Оптимізація системи за витратою енергії. Область застосування.
14. Рівняння і змінні стану об'єкта. Простір стану. Траєкторія руху об'єкта.
15. Представлення об'єкта в формі Коші. Вектори змінних об'єкта.
16. Представлення об'єкта в відносних одиницях.
17. Представлення об'єкта в формі Фробеніуса (канонічна форма).
18. Представлення об'єкта в діагональній формі Джордана.
19. Представлення об'єкта в вертикальній супроводжувачій формі (друга канонічна форма).
20. Концепція збуреного-незбуреного руху.

Змістовний модуль 2

1. Математичні методи розв'язання задач оптимального керування.
2. Основні поняття варіаційного числення.
3. Методи розв'язання варіаційних задач. Рівняння Ейлера
4. Класичне варіаційне числення. Рівняння Ейлера-Лагранжа. Область застосування.
5. Принцип Максимуму. Область застосування.
6. Динамічне програмування. Область застосування.
7. Прямий метод Ляпунова. Область застосування.
8. Задача аналітичного конструювання регуляторів (АКР) в постановці Калмана.
9. Особливості розв'язання задачі аналітичного конструювання регуляторів (АКР) за методом Барбашина.

Змістовний модуль 3

1. Основні принципи побудови систем автоматичного керування з використанням властивостей симетрії.
2. Характеристика модифікованого принципу симетрії.
3. Методи синтезу високоякісних систем керування.
4. Властивості систем, стійких при необмеженому збільшенні коефіцієнта підсилення.
5. Принципи побудови систем керування, стійких при необмеженому збільшенні коефіцієнта підсилення.
6. Ковзний режим роботи релейної системи керування.

Змістовний модуль 4

1. Структура систем автоматичного керування при адаптивному регулюванні.
2. Принципи адаптивного регулювання. Класифікація адаптивних систем.
3. Системи автоматичного керування з адаптивним контуром регулювання струму.

4. Системи автоматичного керування з адаптивним контуром регулювання швидкості.
5. Відмінна ознака, призначення та класифікація екстремальних систем.
6. Принципи побудови екстремальних систем.
7. Системи екстремального керування з запам'ятовуванням екстремуму.
8. Системи екстремального керування крокового типу.
9. Системи екстремального керування з зовнішнім генератором пошукових сигналів.
10. Поняття об'єкту, що повністю та частково спостерігається.
11. Спостерігачі стану, їх область застосування.
12. Структурний і параметричний синтез систем зі спостерігачами стану
13. Стандартні форми розподілу коренів характеристичного рівняння.
14. Системи автоматичного керування зі спостерігачем стану повного порядку.
15. Системи автоматичного керування зі спостерігачем нижчого порядку.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

Базова

1. Зимин Э.Н., Яковлев В.Н. Автоматическое управление электроприводами. М: Высшая школа, 1979. 318 с.
2. Довідник по автоматизованому електроприводу. Під. Ред. В.А. Єлисеєва, А.В. Шиняньського. - М: Енергоіздат, 1983. – 616 с.
3. Чураков Е.П. “Оптимальные и адаптивные системы”. - М.: Энергоиздат. 1987. – 255 с.
4. Петров Ю.П. “Оптимальное управление электроприводом”.- Л.: Энергия. 1971. – 140 с.
5. Баширин А.В., Новиков В.А., Соколовский Г.Г. “Управление электроприводами”.- Л.: Энергоиздат. 1982. – 392 с.
6. Дунаев В.И. “Квазиоптимальные по быстрдействию системы автоматического управления”. - М.: Энергия. 1970. – 163 с.
7. Методичні вказівки щодо виконання контрольних робіт з курсу “Системи оптимального керування” для студентів заочної форми навчання. Сергієнко С.А., Калінов А.П., Сичов С.Д., 2014.
Методичні вказівки щодо виконання практичних робіт з навчальної дисципліни “Системи оптимального керування” для студентів денної та заочної форм навчання. Сергієнко С.А., Зачепа Ю.В., Зачепа Н.В., 2014.
Методичні вказівки щодо виконання лабораторних робіт з навчальної дисципліни “Системи оптимального керування” для студентів денної та заочної форм навчання. Сергієнко С.А., Зачепа Ю.В., Зачепа Н.В., 2014.
Методичні вказівки щодо самостійної роботи з навчальної дисципліни “Системи оптимального керування” для студентів денної та заочної форм навчання. Сергієнко С.А., Зачепа Ю.В., Зачепа Н.В., 2014.
8. Мандровский Б.Ю., Туник А.А. “Системы экстремального управления при случайных возмущениях” (Справочник),- К.: Наукова думка. 1970. – 172 с.
9. Садовой А.В., Сухинин Б.В., Сохина Ю.В. “Системы оптимального управления прецизионными электроприводами”. К.: ИСИМО, 1996. – 298 с.

10. Кунцевич В.М. “Системы экстремального управления”. К.: Наукова думка, 1981. – 150 с.

11. Мееров М.В. “Синтез структур систем автоматического регулирования высокой точности”, М.: Наука, 1967. – 423 с.

Допоміжна

1. Смольников В.Н. “Синтез квазиоптимальных систем автоматического управления”. 1967. – 125 с.

2. Кунцевич В.М. “Системы экстремального управления”.- К.: Наукова думка, 1981. – 150 с.

3. Мееров М.В. “Синтез структур систем автоматического регулирования высокой точности”, М.: Наука, 1967. – 423 с.

Методичні вказівки щодо самостійної роботи з навчальної дисципліни «Математичні методи оптимізації та системи оптимального керування» для студентів денної та заочної форм навчання зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» з освітньо-професійної та освітньо-наукової програм «Електромеханічні системи автоматизації та електропривод».

Укладачі: к.т.н., доцент Ю. В. Зачепа,

асистент Н. В. Зачепа

Відповідальний за випуск зав. кафедри САУЕ Д. Й. Родькін

Підп. до др. _____. Формат 60x84 1/16. Папір тип. Друк ризографія.

Ум. друк. арк. _____. Наклад _____ прим. Зам. № _____. Безкоштовно.

Видавничий відділ

Кременчуцького національного університету

імені Михайла Остроградського

вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600