Министерство науки и высшего образования РФ
ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный университет»
Факультет математики, информационных и авиационных технологий

Андреев А.С.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ТЕОРИЯ УПРАВЛЕНИЯ В ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ»

Для студентов специалитета по специальности 10.05.03 очной формы обучения

Ульяновск, 2020

Методические указания для самостоятельной работы студентов по дисциплине «Теория управления в информационных системах» / составитель: А.С.Андреев. - Ульяновск: УлГУ, 2020. Настоящие методические указания предназначены для студентов специалитета по специальности 10.05.03 очной формы обучения. В работе приведены литература по дисциплине, основные темы курса и вопросы в рамках каждой темы, рекомендации по изучению теоретического материала, контрольные вопросы для самоконтроля и тесты для самостоятельной работы. Студентам очной формы обучения они будут полезны при подготовке к лекциям, семинарам, курсовым работам и к зачёту по данной дисциплине.

Методические указания рекомендованы к введению в образовательный процесс решением Ученого Совета ФМИиАТ УлГУ (протокол № 6/20 от 22.09.2020 г.).

СОДЕРЖАНИЕ

1. ЛИТЕРАТУРА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Шишмарев В.Ю. Основы автоматического управления: учебное пособие для вузов / В. Ю. Шишмарёв. - 2-е изд., испр. и доп. - Москва: Издательство Юрайт, 2020. - 350 с.
2. Востриков А. С. Теория автоматического регулирования: учебник и практикум для вузов /А. С. Востриков, Г. А. Французова. - Москва: Издательство Юрайт, 2020. - 279 с.
3. Зубов В.И. Лекции по теории управления. - М.: Лань, 2009. - 496 с.
4. Зубов В.И. Динамика управляемых систем. - М.: Наука, 1982. - 288 с.
5. Воронов А.А. Устойчивость, управляемость, наблюдаемость. - М.: Наука, 1979. - 336с.
6. Андреев А. С., Перегудова О. А., Филаткина Е. В. Методы конструирования управляемых систем. — Ульяновск: Ульяновский гос. ун-т, 2016. — 72 с. -Режим доступа: ftp://10.2.96.134/Text/Andreev_2016.pdf
7. Андреев А.С. Устойчивость неавтономных функционально-дифференциальных уравнений. - Ульяновск: УлГУ, 2005. - 328 с.
8. КимД. П. Теория автоматического управления. Линейные системы: учебник и практикум для вузов / Д. П. Ким. - 3-е изд., испр. и доп. - Москва: Издательство Юрайт, 2020. - 311 с.
9. Ягодкина Т. В. Основы автоматического управления: учебник и практикум для среднего профессионального образования / Т. В. Ягодкина, В. М. Беседин. - Москва: Издательство Юрайт, 2020. - 470 с.
10. Северцев Н. А. Динамические системы: безопасность и отказоустойчивость: учебное пособие для вузов / Н. А. Северцев. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва: Издательство Юрайт, 2020. - 415 с.
11. Рачков М. Ю. Оптимальное управление в технических системах: учебное пособие для вузов / М. Ю. Рачков. - 2-е изд., испр. и доп. - Москва: Издательство Юрайт, 2020. -120 с.

2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

2.1. РАЗДЕЛ 1. СИНТЕЗ УПРАВЛЕНИЙ В ЛИНЕЙНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

ТЕМА 1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ СИНТЕЗА ПРОГРАММНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Основные вопросы:

1. Общие представления о теории управления. Состав и элементы информационно-управляющих систем.
2. Вопросы оптимизации в теории управления. Постановка задачи построения программного управления.

Рекомендации по изучению темы:

Вопрос 1 изложен в лекции. Для самостоятельного изучения вопроса 1 следует обратиться к [1] на с. 12-20.

Вопрос 2 изложен в лекции. Для самостоятельного изучения вопроса 2 следует обратиться к[3] на с. 112-127.

Контрольные вопросы по теме 1:

1. Какие системы называются динамическими?
2. Как определяется динамическая система?
3. В чем состоит общая проблема управления?
4. Как ставится задача построения программного управления?

Задания для самостоятельной работы:

Проработать лекционный материал и решить задачи.

1.	Какой вид имеет закон управления, если объект управления задан системой $$\dot{x} = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 2 & 1 \\ 0 & 1 & 2 \end{pmatrix} x + \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} u ,$$ а характеристическое уравнение синтезированной системы имеет корни: -2,-2,-1? а) $u = -(18x_1 + 13x_2 + 10x_3)$ б) $u = -(28x_1 + x_2 - 8x_3)$ в) $u = -(x_1 - 11x_2 - 71x_3)$
2.	Возникновение предельных циклов характерно для: а) линейных систем б) нелинейных систем в) как для линейных, так и для нелинейных систем
3.	Какая особенность не характерная для нелинейных систем а) выполняется принцип суперпозиции

	б) начальные отклонения влияют на положение равновесия в) возможно несколько положений равновесия
4.	Частное решение $y^*(t)$ системы управления $\dot{y} = Y(y,t)$ называется а) траекторией б) возмущённым движением в) устойчивым движением
5.	Невозмущённое движение называется асимптотически устойчивым, если оно устойчиво по Ляпунову и а) $\forall \eta > 0 : \left\| y^*(t_0) - y(t_0) \right\| < \eta \Rightarrow \left\| y^*(t) - y(t) \right\| \to \infty$ б) $\exists \beta > 0 : \left\| y^*(t) - y(t) \right\| > \delta \Rightarrow \left\| y^*(t_0) - y({}_0t) \right\| > 0 \ \forall t$ в) $\exists \delta > 0 : \left\| y^*(t_0) - y(t_0) \right\| < \delta \Rightarrow \left\| y^*(t) - y(t) \right\| \to 0 \ \forall t \to \infty$
6.	Чтобы невозмущенному решению соответствовало нулевое решение, необходимо а) записать систему в изображающих точках б) записать систему в отклонениях в) записать линеаризованную систему

2.2. РАЗДЕЛ 1. СИНТЕЗ УПРАВЛЕНИЙ В ЛИНЕЙНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

ТЕМА 2. СИНТЕЗ ПРОГРАММНЫХ УПРАВЛЕНИЙ ДЛЯ ЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ

Основные вопросы:

1. Линейная система. Класс допустимых управлений для линейной системы. Лемма о представлении допустимых управлений.
2. Алгоритм решения задачи синтеза программных управлений в линейных системах. Управляемость.
3. Критерии полной управляемости. Разбиение не полностью управляемой системы на управляемую и неуправляемую части.

Рекомендации по изучению темы:

Вопрос 1 изложен в лекции. Для самостоятельного изучения вопроса 1 следует обратиться к [3] на с. 218-231.

Вопросы 2, 3 изложены в лекции.

Контрольные вопросы по теме 2:

1. Сформулируйте лемму о представлении допустимых управлений.
2. Что понимают под синтезом программных управлений?
3. Когда задача синтеза будет иметь решение?
4. Какой объект называется управляемым?
5. Сформулируйте критерий полной управляемости.

Лабораторная работа для самостоятельной работы:

Цель: освоение основных приемов и методов синтеза программных управлений для линейных динамических систем.

Содержание работы: линейные системы, представление допустимых управлений для линейных систем, алгоритм решения задачи синтеза программных управлений в линейных системах, управляемость, критерии полной управляемости, разделение не полностью управляемой системы на управляемую и неуправляемую части.

Результат: программа, подробная демонстрация результатов работы, отчет о проделанной работе.

Методические указания: выполнение задания должно вестись с использованием математических программных пакетов, отчет должен содержать подробный анализ проделанной работы.

Задачи для самостоятельной работы:

1.	Для того, чтобы уравнения состояния $\dot{x} = Ax + Bu$ неособым образом можно было преобразовать в управляемую форму Луенбергера, необходимо и достаточно, чтобы пара (A,B) была а) вполне наблюдаема б) вполне управляема в) неособой
2.	Матрицу T^{-1}, преобразующая систему $\dot{x} = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 4 & 3 & 0 \\ 0 & 0 & 2 \end{pmatrix} x + \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} u$ в управляемую форму Луенбергера имеет вид а) $\begin{pmatrix} 0 & 0,25 & 0 \\ 1 & 0,75 & 0 \\ 4 & 4,25 & 1 \end{pmatrix}$ б) $\begin{pmatrix} 0 & 0,5 & 0 \\ -1 & 0,75 & 0 \\ 4 & 4,25 & 1 \end{pmatrix}$ в) $\begin{pmatrix} 0 & -0,25 & 0 \\ 1 & 0,75 & 0 \\ 4 & 4,25 & -1 \end{pmatrix}$
3.	Каковы корни характеристического уравнения замкнутой системы в случае модального управления? а) Имеют отрицательные действительные части б) Располагаются в 1-ой и 4-ой частях фазовой плоскости в) Отвечают наперёд заданным значениям
4.	Какой вид имеет закон управления, если объект управления задан системой

	$\dot{x}=\begin{pmatrix}1 & 2 & 1\\ 0 & 2 & 1\\ 0 & 1 & 2\end{pmatrix}x+\begin{pmatrix}0\\ 0\\ 1\end{pmatrix}u$, а характеристическое уравнение синтезированной системы имеет корни: -2,-2,-1? а) $u=-(18x_1+13x_2+10x_3)$ б) $u=-(28x_1+x_2-8x_3)$ в) $u=-(x_1-11x_2-71x_3)$
5.	Возникновение предельных циклов характерно для: а) линейных систем б) нелинейных систем в) как для линейных, так и для нелинейных систем

2.3. РАЗДЕЛ 1. СИНТЕЗ УПРАВЛЕНИЙ В ЛИНЕЙНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

ТЕМА 3. СИНТЕЗ ПРОГРАММНЫХ УПРАВЛЕНИЙ ДЛЯ РАЗНОСТНЫХ СИСТЕМ

Основные вопросы:

1. Понятия разностной системы, ее решения и допустимого управления.
2. Программные управления в линейных разностных системах.
3. Алгоритм синтеза программного управления для линейной разностной системы.
4. Стационарные разностные системы. Критерии полной управляемости разностной системы.

Контрольные вопросы по теме 3:

1. Дайте определение разностной системы?
2. Дайте определение допустимого управления разностной системы.
3. Каков алгоритм синтеза программного управления для линейной разностной системы.
4. Назовите критерии полной управляемости разностной системы.

Лабораторная работа для самостоятельной работы:

Цель: освоение основных приемов и методов синтеза программных управлений для разностных динамических систем.

Содержание работы: разностные системы, решение разностной системы, построение допустимых управлений для разностной системы, синтез программного управления для линейной разностной системы, критерий полной управляемости для разностной системы.

Результат: программа, подробная демонстрация результатов работы, отчет о проделанной работе.

Методические указания: выполнение задания должно вестись с использованием математических программных пакетов, отчет должен содержать подробный анализ проделанной работы.

Задачи для самостоятельной работы:

1.	Программный управляемый процесс это а) совокупность позиционного управления и решения задачи Коши б) совокупность программного движения и вектора состояния в) совокупность программного движения, программного управления и интегрального интервала
2.	Управление, нивелирующее отклонение реального движения от программного, называется а) оптическим управлением б) программными управлением в) позиционным управлением
3.	Для системы магнитной подвески $m\ddot{y} = -k\dot{y} + mg + F(y,i)$ программная позиция установившегося движения имеет вид а) $\left(r, 0, \left(1+\frac{r}{a}\right)\sqrt{\frac{2mga}{L_0}}\right)$ б) $\left(r, 0, mga\left(1+\frac{r}{\sqrt{a}}\right)\sqrt{\frac{2}{L_0}}\right)$ в) $\left(r, \frac{r}{a}, \frac{1}{L_0}\sqrt{2mga}\right)$
4.	В задаче $\begin{cases} \dot{x}(t) = f(t,x,u) \\ u = u^p(t) + \tilde{u}(t,\tilde{z}) \end{cases}$ управление $\tilde{u}(t,\tilde{z})$ называют а) программное управление б) дополнительное управление в) возмущенное управление
5.	На каком интервале решается задача стабилизации программного движения? а) $t \in (-\infty, t_0]$ б) $t \in (-\infty, t_0) \cup (t_0, \infty)$ в) $t \in [t_0, \infty)$
6.	Обратную связь вида $\tilde{u} = u^{st}(t,y,r)$ называют а) статической обратной связью б) динамической обратной связью в) локальной обратной связью
7.	Задача слежения состоит в построении управления по обратной связи, при котором отклонение от программного движения в текущий момент времени а) стремилось бы к нулю б) оставалось бы постоянным в) стремилось бы к бесконечности

8.	В каком случае программное движение системы является постоянным? а) когда оно является программной позицией б) когда оно является стабилизирующим в) когда оно является асимптотически устойчивым
9.	Для линейной системы $\begin{cases} \dot{x}(t) = Ax + Bu \\ u = u^p + u^{st}(y),\ u^p = const \end{cases}$, уравнения в отклонениях от программной позиции имеют вид а) $\dot{y}(t) = Ay + Bu^p$ б) $\dot{y}(t) = Ay + B\left(u^p + u^{st}\right)$ в) $\dot{y}(t) = Ay + Bu^{st}$

2.4. РАЗДЕЛ 1. СИНТЕЗ УПРАВЛЕНИЙ В ЛИНЕЙНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

ТЕМА 4. ЗАДАЧА НАБЛЮДЕНИЯ В ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Основные вопросы:

1. Наблюдаемость. Постановка задачи наблюдения. Алгоритм решения задачи полной наблюдаемости. Критерии полной наблюдаемости. Восстановление элементов динамики информационных процессов.
2. Стационарные наблюдаемые системы. Связь задачи управления и задачи наблюдения, принципдвойственности. Разбиение не полностью наблюдаемой системы на наблюдаемую и ненаблюдаемую части.
3. Задача наблюдения в разностных системах.

Рекомендации по изучению темы:

Вопрос 1 изложен в лекции. Для самостоятельного изучения вопроса 1 следует обратиться к [2] на с. 130-131.

Вопрос 2 изложен в лекции. Для самостоятельного изучения вопроса 2 следует обратиться к [2] на с. 132-140.

Вопрос 3 изложен в лекции.

Контрольные вопросы по теме 3:

1. Как формулируется задача наблюдения в динамических системах?
2. Каков алгоритм решения задачи полной наблюдаемости?
3. Назовите критерии полной наблюдаемости.
4. Как формулируется задача наблюдения в разностных системах?

Лабораторная работа для самостоятельной работы:

Цель: освоение основных приемов решения задачи наблюдения для динамических систем.

Содержание работы: задача наблюдения для линейных и разностных динамических систем, алгоритм решения задачи полной наблюдаемости, критерии полной наблюдаемости, принцип двойственности задачи управления и задачи наблюдения.

Результат: программа, подробная демонстрация результатов работы, отчет о проделанной работе.

Методические указания: выполнение задания должно вестись с использованием математических программных пакетов, отчет должен содержать подробный анализ проделанной работы.

Задачи для самостоятельной работы:

1. Дана линейная стационарная система

$$\begin{cases} \dot{x} = Ax + bu, \\ y = cx \end{cases}$$

С помощью критериев управляемости и наблюдаемости определить: будет ли система управляемой, наблюдаемой.

Варианты заданий:

а) $A = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{pmatrix}, b = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}, c = \begin{pmatrix} 1 & 1 \end{pmatrix}$ б) $A = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 2 \end{pmatrix}, b = \begin{pmatrix} 1 \\ -1 \end{pmatrix}, c = \begin{pmatrix} 1 & 2 \end{pmatrix}$

в) $A = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}, b = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}, c = \begin{pmatrix} 1 & -1 \end{pmatrix}$ г) $A = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}, b = \begin{pmatrix} 1 \\ -1 \end{pmatrix}, c = \begin{pmatrix} 0 & 1 \end{pmatrix}$

д) $A = \begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}, b = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}, c = \begin{pmatrix} 1 & 0 \end{pmatrix}$ е) $A = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}, b = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix}, c = \begin{pmatrix} -1 & 0 \end{pmatrix}$

ж) $A = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 2 \end{pmatrix}, b = \begin{pmatrix} -2 \\ 1 \end{pmatrix}, c = \begin{pmatrix} 2 & 1 \end{pmatrix}$ з) $A = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}, b = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix}, c = \begin{pmatrix} 0 & 1 \end{pmatrix}$

2.5. РАЗДЕЛ 1. СИНТЕЗ УПРАВЛЕНИЙ В ЛИНЕЙНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

ТЕМА 5. ОПИСАНИЕ ЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ В ЧАСТОТНОЙ ОБЛАСТИ

Основные вопросы:

1. Преобразование Лапласа и его свойства.
2. Оценка нормы матричной экспоненты. Передаточная матрица и ее свойства.

Рекомендации по изучению темы:

Вопрос 1 изложен в лекции. Для самостоятельного изучения вопроса 1 следует обратиться к [10] на с. 25-31.

Вопрос 2 изложен в лекции. Для самостоятельного изучения вопроса 2 следует обратиться к [10] на с. 31-36 или к [2] на с. 25-30.

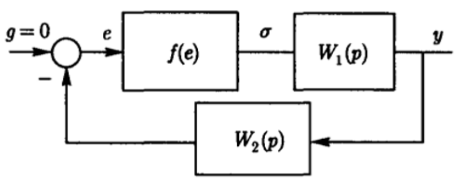
Контрольные вопросы по теме 5:

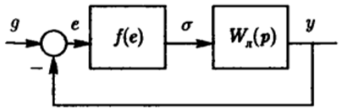
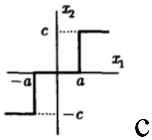
1. Какая формула прямого преобразования Лапласа?
2. Какая формула обратного преобразования Лапласа?
3. Назовите свойства преобразования Лапласа?
4. Что такое передаточная функция?
5. Какая матрица называется передаточной и каковы ее свойства?

Задания для самостоятельной работы:

Проработать лекционный материал и решить задачи.

1.	Найти преобразование Лапласа для функции $f = f(t)$. 1. $f = e^{-t}$ 2. $f = \sin(2t)$ 3. $f = \cos(2t)$. 4. $f = e^{-2t}$. 5. $f = \cos(3t)$. 6. $f = \sin(3t)$. 7. $f = e^{-3t}$. 8. $f = \sin(5t)$. 9. $f = \cos(5t)$. 10. $f = e^{-4t}$. 11. $f = \sin(10t)$. 12. $f = \cos(10t)$. 13. $f = e^{-10t}$. 14. $f = \cos(7t)$. 15. $f = \sin(7t)$. 16. $f = e^{-7t}$. 17. $f = \cos(8t)$. 18. $f = \sin(8t)$. 19. $f = e^{-8t}$. 20. $f = \sin(9t)$.
2.	Найти передаточную функцию $W(p) = \frac{y(p)}{u(p)}$ системы, описываемой дифференциальным уравнением $\frac{d^2y}{dt^2} + a\frac{dy}{dt} + by = cu(t)$. 1. $\frac{d^2y}{dt^2} + \frac{dy}{dt} + y = u(t)$. 2. $\frac{d^2y}{dt^2} + 2\frac{dy}{dt} + y = 3u(t)$. 3. $\frac{d^2y}{dt^2} + \frac{dy}{dt} + 2y = 2u(t)$. 4. $\frac{d^2y}{dt^2} - 2\frac{dy}{dt} + 3y = u(t)$. 5. $\frac{d^2y}{dt^2} + 5\frac{dy}{dt} - y = -2u(t)$. 6. $\frac{d^2y}{dt^2} + 3\frac{dy}{dt} + 2y = -u(t)$. 7. $\frac{d^2y}{dt^2} + 6\frac{dy}{dt} + 2y = 5u(t)$. 8. $\frac{d^2y}{dt^2} + 8\frac{dy}{dt} + 2y = -3u(t)$. 9. $\frac{d^2y}{dt^2} + 3\frac{dy}{dt} - 4y = 2u(t)$. 10. $\frac{d^2y}{dt^2} + 2\frac{dy}{dt} - 5y = 3u(t)$. 11. $\frac{d^2y}{dt^2} + 7\frac{dy}{dt} + y = 4u(t)$. 12. $\frac{d^2y}{dt^2} + 3\frac{dy}{dt} + 10y = -3u(t)$. 13. $\frac{d^2y}{dt^2} - 5\frac{dy}{dt} + 3y = 6u(t)$. 14. $\frac{d^2y}{dt^2} + 2\frac{dy}{dt} + 4y = 7u(t)$. 15. $\frac{d^2y}{dt^2} + 3\frac{dy}{dt} + 10y = -10u(t)$. 16. $\frac{d^2y}{dt^2} + 6\frac{dy}{dt} + 10y = -5u(t)$. 17. $\frac{d^2y}{dt^2} + 5\frac{dy}{dt} - 5y = 3u(t)$. 18. $\frac{d^2y}{dt^2} + 2\frac{dy}{dt} - 2y = 3u(t)$.

	19. $\frac{d^2y}{dt^2}+4\frac{dy}{dt}+3y=2u(t)$. 20. $\frac{d^2y}{dt^2}+3\frac{dy}{dt}+8y=-3u(t)$
3.	Найти передаточную функцию $W(p)$ замкнутой системы с единичной отрицательной обратной связью, если дана передаточная функция разомкнутой системы $W_1(p)$. 1. $W_1(p)=\frac{2p}{p^2+p+1}$. 2. $W_1(p)=\frac{3p}{p^2+2p+1}$. 3. $W_1(p)=\frac{2}{p^2+p+2}$. 4. $W_1(p)=\frac{5p}{p^2-2p+3}$. 5. $W_1(p)=\frac{p}{p^2+5p-1}$. 6. $W_1(p)=\frac{3}{p^2+3p+2}$. 7. $W_1(p)=\frac{10p}{p^2+6p+2}$. 8. $W_1(p)=\frac{7}{p^2+8p+2}$. 9. $W_1(p)=\frac{2p}{p^2+3p-4}$. 10. $W_1(p)=\frac{p}{p^2+2p-5}$. 11. $W_1(p)=\frac{2p}{p^2+7p+1}$. 12. $W_1(p)=\frac{10p}{p^2+3p+10}$. 13. $W_1(p)=\frac{4}{p^2-5p+3}$. 14. $W_1(p)=\frac{2p}{p^2+2p+4}$. 15. $W_1(p)=\frac{9p}{p^2+3p+10}$. 16. $W_1(p)=\frac{p}{p^2+6p+10}$. 17. $W_1(p)=\frac{p+1}{p^2+5p-5}$. 18. $W_1(p)=\frac{p-1}{p^2+2p-2}$ 19. $W_1(p)=\frac{p}{p^2+4p+3}$. 20. $W_1(p)=\frac{2p}{p^2+3p+8}$.
4.	Записать в нормальной форме уравнения системы, заданной следующей передаточной функцией: $W_{yu}(p)=\frac{2p^3+p^2+5p+3}{p^3+4p^2+2p+1}$
5.	Показать, что системы управления, которая описывается уравнением $\dot{x}=Ax+Bu$, не вполне управляема, но стабилизируема, где A,B заданы: $A=\begin{pmatrix}1 & 2 & 0\\ -4 & -3 & 0\\ 0 & 0 & 2\end{pmatrix}, B=\begin{pmatrix}0\\0\\1\end{pmatrix}$
6.	Дана система, изображённая на рисунке  состоящая из линейных звеньев с передаточными функциями $W_1(p)=\frac{5}{p^2}$ и $W_2(p)=0,5p+1$ и нелинейного звена, имеющего характеристику релейного звена с зоной нечувствительности и параметрами $a=1, c=2$. Исследовать: а) устойчивость системы на интервале [-1;1]; б) характер переходного процесса.
7.	В типовой структурной схеме нелинейной системы, изображённой на рисунке

	 Нелинейное звено имеет релейцю характеристику с зоной чувствительности вида  с высотой $c=\pi$ и зоной нечувствительности $a=1$, линейная части имеет передаточную функцию $W(p)=\dfrac{10}{p^3+2p^2+p}$ и задающее воздействие $g=0$. Исследовать автоколебания.
8.	Показать, что положение равновесия $y(t)\equiv 0$ системы $\ddot{y}+2{,}5\dot{y}+y+0{,}5u_1+0{,}5u_2$ абсолютно устойчиво в классе нелинейностей $u=f(y,t)$, определяемых локальной связью $F(y,u_1,u_2)=y^2-u_1^2-u_2^2=0$
9.	Определить преобразование линеаризации обратной связью по состоянию для системы $\dot{x}_1=x_2+x_3^5, \dot{x}_2=2x_3+u, \dot{x}_3=-x_2-x_1$

2.6. РАЗДЕЛ 2. ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ УСТОЙЧИВОСТИ

ТЕМА 6. АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ ДЛЯ ЛИНЕЙНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Основные вопросы:

1. Понятие устойчивости. Постановка задачи исследования устойчивости линейной динамической системы.
2. Анализ устойчивости вторым методом Ляпунова. Анализ устойчивости линейных систем с применением матричных уравнений Ляпунова.
3. Методы анализа устойчивости линейных стационарных систем. Вычисление значений интегральных квадратичных функционалов с помощью уравнений Ляпунова. Критерии устойчивости.

Рекомендации по изучению темы:

Вопрос 1 изложен в лекции. Для самостоятельного изучения вопроса 1 следует обратиться к [10] на с. 88-91.

Вопрос 2 изложен в лекции. Для самостоятельного изучения вопроса 2 следует обратиться к [10] на с. 91-92.

Вопрос 3 изложен в лекции.

Контрольные вопросы по теме 6:

1. Дайте определение устойчивости?
2. Что такое квадратичный функционал?

Лабораторная работа для самостоятельной работы:

Цель: освоение методов и приемов анализа устойчивости для линейных динамических процессов.

Содержание работы: анализ устойчивости линейных динамических систем, анализ устойчивости вторым методом Ляпунова, матричные уравнения Ляпунова, анализ устойчивости линейных стационарных систем, критерии устойчивости.

Результат: программа, подробная демонстрация результатов работы, отчет о проделанной работе.

Методические указания: выполнение задания должно вестись с использованием математических программных пакетов, отчет должен содержать подробный анализ проделанной работы.

Задания для самостоятельной работы:

1. С помощью критерия Рауса-Гурвица определить, будет ли устойчивой система с передаточной функцией $W(p)=\dfrac{1}{a_2p^2+a_1p+a_0}$.

1. $\dfrac{1}{p^2+p+1}$. 2. $\dfrac{1}{p^2+2p+1}$. 3. $\dfrac{1}{p^2+p+2}$. 4. $\dfrac{1}{p^2-2p+3}$. 5. $\dfrac{1}{p^2+5p-1}$.
6. $\dfrac{1}{p^2+3p+2}$. 7. $\dfrac{1}{p^2+6p+2}$. 8. $\dfrac{1}{p^2+8p+2}$. 9. $\dfrac{1}{p^2+3p-4}$.
10. $\dfrac{1}{p^2+2p-5}$. 11. $\dfrac{1}{p^2+7p+1}$. 12. $\dfrac{1}{p^2+3p+10}$. 13. $\dfrac{1}{p^2-5p+3}$.
14. $\dfrac{1}{p^2+2p+4}$. 15. $\dfrac{1}{p^2+3p+10}$. 16. $\dfrac{1}{p^2+6p+10}$. 17. $\dfrac{1}{p^2+5p-5}$. 18. $\dfrac{1}{p^2+2p-2}$. 19. $\dfrac{1}{p^2+4p+3}$. 20. $\dfrac{1}{p^2+3p+8}$.

2. С помощью критерия Михайлова определить, будет ли устойчивой система с передаточной функцией $W(p)=\dfrac{b_0p+b_1}{a_2p^2+a_1p+a_0}$

1. $\dfrac{2p}{p^2+3p+1}$. 2. $\dfrac{3p}{p^2+5p+1}$. 3. $\dfrac{2}{p^2+p+4}$. 4. $\dfrac{5p}{p^2+3p+3}$.
5. $\dfrac{p}{p^2+6p-1}$. 6. $\dfrac{3}{p^2+3p+5}$. 7. $\dfrac{10p}{p^2+16p+2}$. 8. $\dfrac{7}{p^2+8p+9}$.
9. $\dfrac{2p}{p^2+5p-4}$. 10. $\dfrac{p}{p^2+3p-5}$. 11. $\dfrac{2p}{p^2+9p+1}$. 12. $\dfrac{10p}{p^2+13p+10}$.
13. $\dfrac{4}{p^2-5p+7}$. 14. $\dfrac{2p}{p^2+4p+4}$. 15. $\dfrac{9p}{p^2+12p+10}$. 16. $\dfrac{p}{p^2+7p+10}$.
17. $\dfrac{p+1}{p^2+6p-4}$. 18. $\dfrac{p-1}{p^2+3p-3}$. 19. $\dfrac{p}{p^2+5p+3}$. 20. $\dfrac{2p}{p^2+5p+8}$.

2.7. РАЗДЕЛ 2. ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ УСТОЙЧИВОСТИ

ТЕМА 7. АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ ДЛЯ НЕЛИНЕЙНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Основные вопросы:

1. Постановка задачи исследования устойчивости нелинейной динамической системы.
2. Анализ устойчивости на основе первого и второго методов Ляпунова.
3. Методы анализа устойчивости различных видов нелинейных динамических систем. Критерии устойчивости.

Контрольные вопросы по теме 7:

1. Какие системы называются нелинейными?
2. Сформулируйте задачу исследования устойчивости нелинейной динамической системы.

Лабораторная работа для самостоятельной работы:

Цель: освоение методов и приемов анализа устойчивости для нелинейных динамических процессов.

Содержание работы: анализ устойчивости нелинейных динамических систем, анализ устойчивости первым и вторым методом Ляпунова, подбор функций Ляпунова, анализ устойчивости нелинейных стационарных систем, критерии устойчивости.

Результат: программа, подробная демонстрация результатов работы, отчет о проделанной работе.

Методические указания: выполнение задания должно вестись с использованием математических программных пакетов, отчет должен содержать подробный анализ проделанной работы.

2.8. РАЗДЕЛ 2. ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ УСТОЙЧИВОСТИ

ТЕМА 8. ЗАДАЧА СТАБИЛИЗАЦИИИ НФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ

Основные вопросы:

1. Постановка задачи стабилизации. Стабилизация линейных стационарных систем с полной информацией о состоянии.
2. Стабилизация по линейному приближению.
3. Стабилизация разностных систем.
4. Стабилизация линейных стационарных систем с неполной информацией.
5. Система асимптотической оценки вектора состояния.

Рекомендации по изучению темы:

Вопросы 1-3 изложены в лекции. Для самостоятельного изучения вопросов 1-3 следует обратиться к [3] на с. 81-100.

Вопросы 4, 5 изложены в лекции.

Контрольные вопросы по теме 8:

1. Сформулируйте задачу стабилизации.

Лабораторная работа для самостоятельной работы:

Цель: освоение методов и приемов решения задачи стабилизации для различных динамических информационных процессов.

Содержание работы: стабилизация линейных стационарных систем с полной информацией о состоянии, стабилизация по линейному приближению, стабилизации разностных систем, численное моделирование динамических информационных процессов.

Результат: программа, подробная демонстрация результатов работы, отчет о проделанной работе.

Методические указания: выполнение задания должно вестись с использованием математических программных пакетов, отчет должен содержать подробный анализ проделанной работы.

Задания для самостоятельной работы:

1.	Найти условие устойчивости нулевого решения уравнения Льенара $$\ddot{x} + f(x)\dot{x} + g(x) = 0$$
2.	С помощью функции Ляпунова исследовать на устойчивость нулевое решение системы $$\dot{x} = f(x) + ay, \dot{y} = bx + cy$$
3.	Определить, будет ли асимптотически устойчиво нижнее положение равновесия маятника с трением $$\ddot{x} + f\dot{x} + \omega^2 \sin x = 0$$
4.	С помощью функции Ляпунова исследовать на устойчивость ненулевое стационарное состояние биологической системы $$\dot{x}(t) = \alpha x(t) - \beta x(t) y(t)$$ $$\dot{y}(t) = k\beta x(t) y(t) - my(t)$$

2.9. РАЗДЕЛ 2. ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ УСТОЙЧИВОСТИ

ТЕМА 9. ЗАДАЧА СИНТЕЗА ОПТИМАЛЬНЫХ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫМ И ПРОЦЕССАМИ

Основные вопросы:

1. Постановка задачи оптимальной стабилизации. Оптимальная стабилизация линейных систем. Функционалы как характеристики качества стабилизации.

2. Уравнение Риккати и его свойства. Вопрос о выборе весовых коэффициентов в интегральных квадратичных функционалах. Характеристики качества переходных процессов: быстродействие, перерегулирование и колебательность.

Контрольные вопросы по теме 9:

1. Сформулируйте задачу оптимальной стабилизации.
2. Каковы свойства уравнения Риккати?
3. Назовите характеристики качества переходных процессов.

Задания для самостоятельной работы:

Проработать лекционный материал и решить задачи.

1. Найти оптимальное управление и оптимальную траекторию с помощью необходимого условия оптимальности

$$\begin{cases} \dot{x} = Ax + bu, \\ x(0) = x_0 \\ J = \int_0^T F(x,u)dt + f(x(T)) \to \min \end{cases}$$

2. Найти оптимальное управление и оптимальную траекторию с помощью принципа максимума Понтрягина

$$\begin{cases} \dot{x} = Ax + bu, \\ x(0) = x_0 \\ J = \int_0^T F(x,u)dt + f(x(T)) \to \min\limits_{|u| \le c} \end{cases}$$

3. Найти оптимальное управление и оптимальную траекторию с помощью метода динамического программирования Беллмана

$$\begin{cases} \dot{x} = ax + bu, \\ x(0) = x_0 \\ J = \int_0^T u^2 dt + cx^2(T) \to \min \end{cases}$$

2.10. РАЗДЕЛ 2. ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ УСТОЙЧИВОСТИ

ТЕМА 10. МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ.ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ И ОПТИМАЛЬНОЕ ДЕМПФИРОВАНИЕ

Основные вопросы:

1. Постановка задачиоптимального демпфирования переходных процессов.
2. Связь оптимального демпфирующего управления с оптимальным по быстродействию управлением. Связь оптимального демпфирующего управления с оптимальным в смысле интегрального функционала управлением в задаче о поиске оптимального программного управления.

Рекомендации по изучению темы:

Вопрос 1 изложен в лекции.

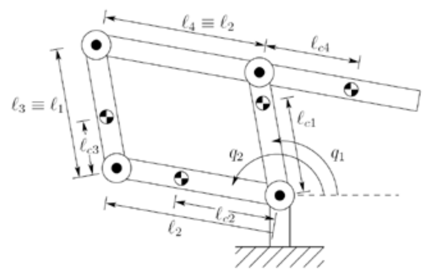
Вопрос 2 изложен в лекции. Для самостоятельного изучения вопроса 2 следует обратиться к [3] на с. 127-161.

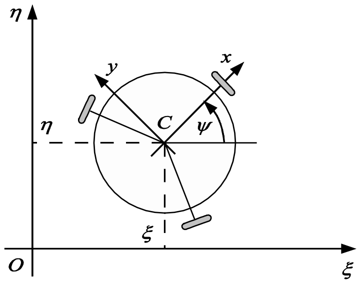
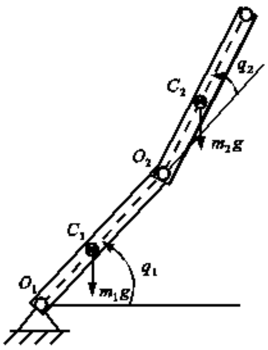
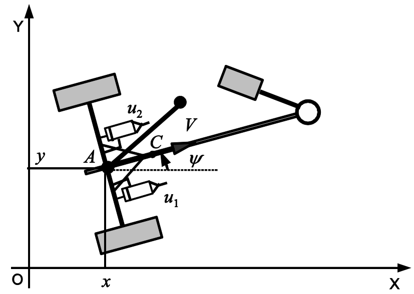
Контрольные вопросы по теме 10:

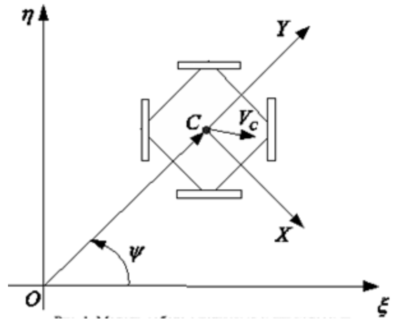
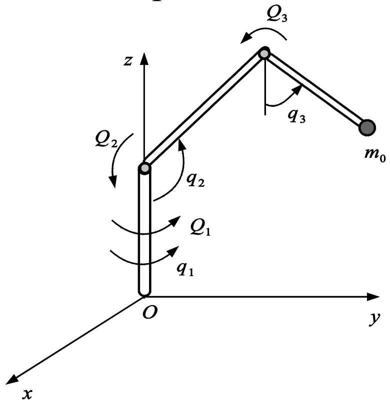
1. Как ставится задача оптимального демпфирования переходных процессов?
2. Какова связь оптимального демпфирующего управления с оптимальным по быстродействию управлением?

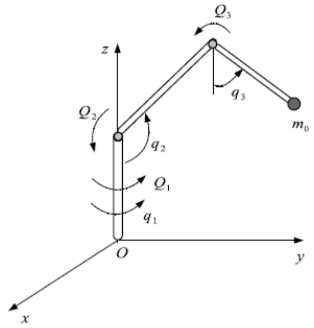
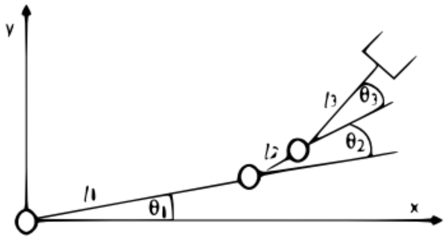
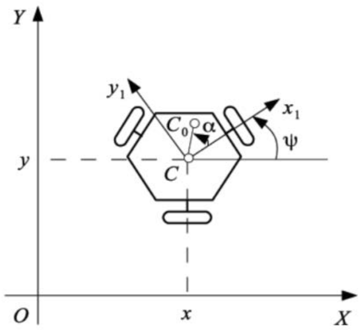
Задания для самостоятельной работы:

Проработать лекционный материал и решить задачи.

1.	Стабилизация программной позиции четырехзвенного механизма при помощи метода скользящих режимов.  Составить модель в переменных состояния. Построить управление в скользящем режиме, которое стабилизирует программную позицию механизма.
2.	Моделирование управляемого движения 3-х колесного мобильного робота.

	 Составить модель в переменных состояния. Построить управлени, которое стабилизирует программное движение рообта.
3.	Стабилизация программной позиции двухзвенного манипулятора на основе линеаризации модели в отклонениях.  Найти программное управление, обеспечивающее программную позицию $(q_1^{(0)}, q_2^{(0)})' = (\delta_1, \delta_2)'$. Составить модель в переменных состояния. Линеаризовать полученную модель и записать её в матричном виде. Подобрать матрицу K так, чтобы матрица $A - BK$ была гурвицевой.
4.	Стабилизация программного движения колесного мобильного робота при помощи метода бэкстеппинга.  Ввести отклонения от программного движения. Пренебречь коэффициентом индуктивности L и получить уравнения математической модели робота.
5.	Моделирование управляемого движения 4-х колёсного мобильного робота.

	 Записать систему уравнений движения манипулятора в векторно-матричной форме. Используя метод линеаризации обратной связью, построить управляющее воздействие.
6.	Стабилизация программного движения трехзвенного манипулятора при помощи метода линеаризации обратной связью.  Записать систему уравнений движения манипулятора в векторно-матричной форме. Используя метод линеаризации обратной связью, построить управляющее воздействие.
7.	Отслеживание траектории колесного робота со смещенным центром масс на основе запаздывающего ограниченного управления без измерения скоростей.  Составить модель в переменных состояния. Решить задачу слежения с использованием управления с запаздыванием $U = P^{-1}(q_3^{(0)}(t) + e_3(t - \nu_3(t)))\times$ $\times(U^{(0)}(t, q_3^{(0)}(t) + e_3(t - \nu_3(t))) + U^{(1)}(e(t - \nu(t))))$
8.	Динамика управляемого движения пространственного трехзвенного манипулятора

	 Записать систему уравнений движения руки робота в векторно-матричной форме Подобрать значения параметров управления, при которых заданное программное движение было асимптотически устойчиво.
9.	Стабилизация антропоморфной руки робота.  Записать систему уравнений движения руки робота в векторно-матричной форме. Решить задачу о стабилизации заданного положения и программного движения посредству релейного дискретного управления $U_i = M_i\left(x_1(nT), x_2(nT), x_3(nT)\right) - k_i \sin(nT),$
10.	Синтез управления трехколесным мобильным роботом со смещенным центром тяжести с использованием ПИ- и ПИД-регуляторов.  Составить модель в переменных состояния. Решить задачу слежения с использованием регулятора вида $$M_0 = -diag(f_k y_k) + diag\left(\mu_k \int\limits_0^t e^{\alpha_k(\tau - t)} y_k d\tau\right)$$