

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

Седова Н.О.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ
«ОСНОВЫ ТЕОРИИ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ»

для студентов бакалавриата по направлениям

15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств»,
24.03.04 «Авиационное строительство»

Ульяновск, 2021

Методические указания для самостоятельной работы студентов по дисциплине «Основы теории автоматического управления» для студентов бакалавриата по направлениям 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств», 24.03.04 «Авиастроение» / составитель: Седова Н.О. - Ульяновск: УлГУ, 2021.

Настоящие методические указания предназначены для студентов, изучающих дисциплину «Основы теории автоматического управления». В работе приведены литература по дисциплине, основные темы курса и вопросы в рамках каждой темы, рекомендации по изучению теоретического материала, контрольные вопросы для самоконтроля, задачи для самостоятельной работы.

Студентам следует использовать данные методические указания при подготовке к практическим занятиям и к экзамену по данной дисциплине.

Рекомендованы к введению в образовательный процесс Ученым советом факультета математики, информационных и авиационных технологий УлГУ (протокол № 2/21 от 16 марта 2021 г.)

Оглавление

1. ЛИТЕРАТУРА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ	4
2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ	5
Тема 1. Основные понятия	5
Тема 2. Математические модели	6
Тема 3. Модели линейных объектов	6
Тема 4. Передаточная функция.....	7
Тема 5. Типовые динамические звенья.....	8
Тема 6. Структурные схемы.....	9
Тема 7. Анализ систем управления	10
Тема 8. Синтез регуляторов	11

1. ЛИТЕРАТУРА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Ким Д. П. Теория автоматического управления. Линейные системы: учебник и практикум для вузов / Д. П. Ким. — 3-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2021. — 311 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-00799-2. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/471029>.
2. Ким Д. П. Теория автоматического управления. Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы : учебник и практикум для вузов / Д. П. Ким. — 3-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2021. — 441 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-00975-0. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/471091>.
3. Ким Д. П. Теория автоматического управления. Линейные системы. Задачник : учебное пособие для вузов / Д. П. Ким, Н. Д. Дмитриева. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2021. — 169 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-9916-8603-7. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/471092>.
4. Шишмарёв В. Ю. Основы автоматического управления : учебное пособие для вузов / В. Ю. Шишмарёв. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2021. — 350 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-05203-9. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/473174>.
5. Ягодкина Т. В. Теория автоматического управления : учебник и практикум для вузов / Т. В. Ягодкина, В. М. Беседин. — Москва : Издательство Юрайт, 2021. — 470 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-06483-4. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/468938>.

2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Тема 1. Основные понятия

Основные вопросы темы:

Введение. История вопроса. Системы управления. Определения. Виды систем управления.

Рекомендации по изучению темы:

Основные вопросы темы обсуждаются на лекции, примеры обсуждаются на практическом занятии. Дополнительную информацию по теме и практические примеры можно также найти в учебниках [1] (с.9-20) и [5] (с.15-36), см. также учебное пособие [4] (с.12-48).

Контрольные вопросы:

1. Какие бывают системы управления?
2. В чем разница между автоматическими и автоматизированными системами управления?
3. Какие разработки положили начало автоматическим системам, работающим по замкнутому принципу?
4. Назовите достоинства и недостатки различных принципов управления
5. Приведите пример управляемой системы с программным управлением

Тесты для самостоятельной работы:

Системой автоматического управления называется система, ...

- a) выполняющая функции контроля объектов управления
- b) осуществляющая управление наилучшим образом
- c) реагирующая на возмущающие воздействия
- d) осуществляющая основной процесс без участия человека
- e) в которой функции управления делят поровну машина и человек

Какая система называется системой автоматизированного управления?

- a) выполняющая функции контроля объектов управления
- b) осуществляющая основной процесс без участия человека
- c) в которой функции управления делятся между машиной и человеком
- d) осуществляющая управление наилучшим образом
- e) реагирующая на возмущающие воздействия

Система, задающее воздействие которой не изменяется во времени, называется ...

- a) следящей
- b) программной
- c) оптимальной
- d) разомкнутой
- e) стабилизирующей

Система, задающее воздействие которой является известной функцией времени, называется...

- a) следящей
- b) стабилизирующей
- c) оптимальной
- d) программной
- e) замкнутой

Система, задающее воздействие которой является произвольной функцией времени, называется...

- a) следящей
- b) стабилизирующей

- c) программной
- d) оптимальной
- e) робастной

Тема 2. Математические модели

Основные вопросы темы:

Связь входа и выхода. Основные правила построения моделей. Линейность и нелинейность. Линеаризация уравнений. Управление.

Рекомендации по изучению темы:

Вопросы темы кратко изложены в учебниках [1] (с.20-22) и [2] (с.28-40), см. также теорию в задачнике [3] (с. 38-48). Для закрепления практических навыков по теме рекомендуются задачи из [3], с.48-57.

Контрольные вопросы:

1. Что такое математическая модель и что о ней необходимо знать для построения управления?
2. Какие источники информации используют при построении моделей?
3. Как убедиться в линейности системы?
4. Что такое принцип суперпозиции?
5. Что означает линеаризация? Когда и для чего ее можно применять?

Тема 3. Модели линейных объектов

Основные вопросы темы:

Дифференциальные уравнения. Модели в пространстве состояний. Переходная функция. Импульсная характеристика (весовая функция).

Рекомендации по изучению темы:

Основные теоретические сведения по теме представлены в учебниках [1] (с.25-42) и [5] (с.45-50, 75-80). Примеры решения задач, а также задачи для самостоятельного решения можно найти в задачнике [3], с.10-13 и учебнике [5] с.155-158.

Контрольные вопросы:

1. Для каких целей используется описание систем в пространстве состояний?
2. Существует ли различие при описании одномерных и многомерных систем в пространстве состояний, в чем оно заключается?
3. В чем состоит недостаток использования описания в пространстве состояний для систем, описываемых передаточными функциями с числителем порядка выше нулевого?
4. Для чего используется наблюдаемая каноническая форма описания в пространстве состояний?
5. Является ли описание в пространстве состояний уникальным?
6. Каковы размерности матриц, используемых при описании систем в пространстве состояний?
7. Каков порядок у системы, описываемой в пространстве состояний, от чего он зависит?
8. Каково характеристическое уравнение системы в пространстве состояний и отличается ли оно от характеристического уравнения, используемого при другом описании?

9. Как получить переходную функцию системы? Как найти импульсную характеристику? Как они связаны между собой?

Тесты для самостоятельной работы:

Как называется реакция на типовое воздействие $1(t)$?

- a) кривая разгона
- b) переходная функция
- c) передаточная функция
- d) частотная функция
- e) импульсная функция

Как называется реакция на типовое воздействие $\delta(t)$?

- a) переходная функция
- b) передаточная функция
- c) частотная функция
- d) кривая разгона
- e) весовая функция

Тема 4. Передаточная функция

Основные вопросы темы:

Преобразование Лапласа. Передаточная функция и пространство состояний. Частотные характеристики. Логарифмические частотные характеристики

Рекомендации по изучению темы:

Основные теоретические сведения по теме представлены в учебниках [1] (с.35-37), [4] (с.82-95) и [5] (с.139-154). Примеры решения задач, а также задачи для самостоятельного решения можно найти в учебнике [1] на с.83-84, в задачнике [3], с.9-10, см. также [5], с. 96-115.

Контрольные вопросы:

1. Перечислите свойства непрерывного преобразования Лапласа. Какая формула задает преобразование Лапласа?
2. Назовите свойства линейных динамических звеньев и систем.
3. Какие динамические звенья называются минимально и неминимально фазовыми?
4. Что такое амплитудная частотная характеристика?
5. Что такое фазовая частотная характеристика?
6. Приведите примеры идеального и реального дифференцирующих звеньев.
7. Каким образом можно представить упругие звенья на физических моделях?
8. Какие входные сигналы надо подавать на объекты управления для получения их переходных и весовых (импульсных переходных) характеристик?
9. Как связаны весовые (импульсные переходные) и переходные характеристики?
10. Дайте определение передаточных функций и комплексного коэффициента усиления звеньев или систем.

Тесты для самостоятельной работы:

Как называется типовое воздействие, имеющее изображение по Лапласу $1/s$?

- a) кривая разгона
- b) единичный скачок
- c) единичная гармоника
- d) единичный импульс
- e) линейная функция

Каково назначение преобразования Лапласа?

- a) это способ описания структурной схемы системы
- b) это способ решения дифференциального уравнения
- c) это способ записи дифференциального уравнения
- d) это способ перехода от частотного описания к временному
- e) это способ перехода от временного описания к частотному

Что называется полюсами передаточной функции?

- a) корни числителя передаточной функции
- b) корни, обозначаемые на комплексной плоскости крестиком
- c) корни знаменателя передаточной функции
- d) значения переменной, обращающие полином в ноль

Что является оригиналом передаточной функции?

- a) переходная функция
- b) реакция на начальные условия
- c) частотная функция
- d) кривая разгона
- e) импульсная функция

Отношение преобразований Лапласа выходной и входной величин системы при нулевых начальных условиях называется ...

- a) переходной функцией
- b) системной функцией
- c) импульсной функцией
- d) передаточной функцией
- e) весовой функцией

Тема 5. Типовые динамические звенья

Основные вопросы темы:

Усилитель. Аперриодическое звено. Колебательное звено. Интегрирующее звено. Дифференцирующие звенья. Запозывание. «Обратные» звенья. ЛАФЧХ сложных звеньев

Рекомендации по изучению темы:

Тема является одной из базовых в классической теории автоматического управления и основные сведения по теме можно найти практически в любом соответствующем учебнике. В частности, вопросы темы обсуждаются в [1] (с.42-56), [4] (с.61-75) и [5] (с.61-75).

Контрольные вопросы:

1. Что называют типовым динамическим звеном?
2. Напишите выражения и покажите графики АЧХ и ФЧХ всех типовых звеньев.
3. Перечислите и запишите передаточные функции типовых динамических звеньев первого и второго порядка.
4. Назовите типовое динамическое звено, если корни знаменателя его передаточной функции чисто мнимые, а числитель передаточной функции равен постоянной.
5. Назовите типовое динамическое звено и его параметры, если его переходная функция равна $h(t) = 1 - 2e^{-\frac{t}{2}} + e^{-t}$.
6. Динамическое звено описывается дифференциальным уравнением $4\ddot{y} + a\dot{y} + y = 3g$. При каких значениях параметра a оно является колебательным звеном?

Тесты для самостоятельной работы:

Звено, у которого скорость изменения выходной величины пропорциональна входной величине, называется ...

- a) инерционным
- b) безынерционным
- c) нейтральным
- d) колебательным
- e) консервативным

Звено, которое на всех частотах создает отставание выходного сигнала относительно входного по фазе на -90° , называется ...

- a) пропорциональным
- b) инерционным
- c) интегрирующим
- d) запаздывающим
- e) дифференциальным

Звено, выходная величина которого в каждый момент времени пропорциональна входной величине, называется ...

- a) усилительным
- b) астатическим
- c) апериодическим первого порядка
- d) дифференциальным
- e) форсирующим

Звено, реакция которого на скачок является экспоненциальной функцией, называется...

- a) астатическим
- b) усилительным
- c) дифференциальным
- d) форсирующим
- e) апериодическим первого порядка

Какое утверждение не соответствует требованиям к типовому динамическому звену?

- a) типовое звено должно характеризоваться одной независимой переменной
- b) типовое звено должно быть однонаправленным
- c) типовое звено должно иметь положительный коэффициент усиления
- d) типовое звено не должно изменять характеристик при подключении других звеньев
- e) типовое звено должно описываться дифференциальным уравнением не выше второго порядка

Тема 6. Структурные схемы

Основные вопросы темы:

Условные обозначения. Правила преобразования структурных схем.

Рекомендации по изучению темы:

Вопросы темы подробно изложены в учебниках [1] (с. 56-66) и [5] (с.116-127), см. также задачник [3] (с.24-31) и [6] (с.116-127). Для закрепления практических навыков по теме рекомендуются задачи из [1], с. 85-86, [3], с.31-33 и [5], с.136-138.

Контрольные вопросы:

1. Что такое структурная схема системы автоматического управления?
2. Перечислите элементы структурных схем и дайте их характеристики.
3. Какое соединение называется последовательным и какова его эквивалентная передаточная функция?
4. Какое соединение называется параллельным и какова его эквивалентная передаточная функция?

5. Какое соединение называется соединением с обратной связью?
6. Выведите эквивалентную передаточную функцию соединения с обратной связью.
7. Сформулируйте критерий проверки правильности структурных преобразований.
8. Сформулируйте правило переноса динамического звена через узел ветвления (по направлению передачи сигнала и против направления передачи сигнала). Приведите пример.
9. Сформулируйте правило переноса динамического звена через сумматор (по направлению передачи сигнала и против направления передачи сигнала). Приведите пример.
10. Сформулируйте правило переноса сумматора через узел ветвления (по направлению передачи сигнала и против направления передачи сигнала). Приведите пример.
11. Какая структурная схема называется типовой?

Тесты для самостоятельной работы:

Функция передачи последовательно соединенных звеньев равна...

- a) дроби, знаменатель которой равен произведению функций по контуру
- b) сумме функций звеньев по прямому пути
- c) произведению функций звеньев по прямому пути
- d) сумме функций звеньев по контуру
- e) дроби, знаменатель которой равен сумме функций звеньев по контуру

Чему равна функция передачи параллельно соединенных звеньев?

- a) произведению функций звеньев по прямому пути
- b) дроби, знаменатель которой равен произведению функций по контуру
- c) сумме функций звеньев по контуру
- d) дроби, знаменатель которой равен сумме функций звеньев по контуру
- e) сумме функций звеньев по прямому пути

Тема 7. Анализ систем управления

Основные вопросы темы:

Требования к управлению. Точность. Устойчивость. Критерии устойчивости. Частотные оценки качества. Корневые оценки качества. Робастность

Рекомендации по изучению темы:

Вопросы темы подробно изложены в учебниках [1] (с.88-113), [2] (с.51-65), [4] (с.148-173) и [5] (с.159-180), см. также задачник [3] (с.116-127). Для закрепления практических навыков по теме рекомендуются задачи, традиционно сопровождающие теорию в литературе, например, [1], с. 120-122, [3], с. 68-71, [5], с.181-190.

Контрольные вопросы:

1. Сформулируйте понятие устойчивости положения равновесия и процесса в линейной системе автоматического управления.
2. Как должна вести себя весовая функция устойчивой, нейтрально устойчивой и неустойчивой системы?
3. Какого вида составляющие весовой функции системы задают действительные отрицательные полюса, действительные положительные полюса, лежащие в левой части и правой части комплексной плоскости?
4. Какого вида составляющие весовой функции системы задают комплексно-сопряженные полюса, лежащие в левой части и правой части комплексной

- плоскости?
5. Какого вида составляющие весовой функции задают полюса, лежащие на мнимой оси?
 6. Сформулируйте критерий устойчивости Гурвица.
 7. Каковы условия устойчивости систем первого, второго и третьего порядка в соответствии с критерием Гурвица?
 8. Сформулируйте принцип аргумента и соответствующий ему критерий Михайлова.
 9. Каковы формулировки критерия Найквиста для устойчивых, нейтрально устойчивых и неустойчивых в разомкнутом состоянии систем?
 10. Сформулируйте общий критерий Найквиста и связанный с ним логарифмический критерий устойчивости.

Тесты для самостоятельной работы:

По разомкнутой системе судят об устойчивости замкнутой в критерии

- a) Гурвица
- b) Найквиста
- c) Михайлова
- d) Рауса

Критерий Гурвица является

- a) интегральным
- b) частотным
- c) корневым
- d) характеристическим
- e) алгебраическим

Кривая Михайлова строится

- a) по комплексному коэффициенту передачи системы
- b) по передаточной функции системы
- c) по нулям и полюсам передаточной функции
- d) по характеристическому уравнению системы
- e) по изображению импульсной функции

Условия, позволяющие оценить положение полюсов системы на комплексной плоскости без вычисления их значений, это...

- a) степень устойчивости
- b) показатели качества
- c) запасы устойчивости
- d) способы нормирования
- e) критерии устойчивости

Для анализа устойчивости системы по критерию Найквиста используется

- a) ФЧХ
- b) АФЧХ
- c) МЧХ
- d) ВЧХ
- e) АЧХ

Тема 8. Синтез регуляторов

Основные вопросы темы:

Классическая схема. ПИД-регуляторы. Метод размещения полюсов. Коррекция ЛАФЧХ. Комбинированное управление. Множество стабилизирующих регуляторов

Рекомендации по изучению темы:

Вопросы темы подробно изложены в учебниках [1], с. 161-200, [4], с.123-147, [5], с. с.221-252, а также в теоретическом разделе задачника [3] (с.82-104). Для закрепления практических навыков по теме рекомендуются задачи из [1] (с. 208-209), [3], (с. 84-89, 93-94, 96-99), [5] (с.253-263).

Контрольные вопросы:

1. Дайте краткую классификацию корректирующих устройств.
2. Перечислите этапы синтеза систем автоматического управления по логарифмическим характеристикам.
3. Приведите алгоритм построения последовательного и параллельного корректирующих устройств.
4. Приведите алгоритм построения корректирующих устройств в цепи обратной связи.
5. Какие требования предъявляются к желаемой ЛАЧХ на участках нижних, средних и высоких частот?
6. Объясните назначение и основные элементы следящей системы.
7. Приведите пример построения последовательного корректирующего устройства для заданных параметров следящей системы.
8. Приведите пример построения параллельного корректирующего устройства для заданных параметров следящей системы.
9. Приведите пример построения корректирующего устройства в цепи обратной связи для заданных параметров следящей системы.
10. Приведите структурную схему следящей системы без коррекции и с коррекцией в цепи обратной связи.
11. Приведите пример построения модального регулятора для одномерной непрерывной линейной системы.

Тесты для самостоятельной работы:

Что дает введение интеграла в закон регулирования?

- a) увеличивает запас устойчивости;
- b) повышает быстродействие;
- c) повышает статическую точность системы;
- d) уменьшает перерегулирование;
- e) уменьшает степень затухания.

Какой прямой показатель качества переходного процесса наиболее эффективно улучшает введение производной в закон регулирования?

- a) увеличивает статическую погрешность;
- b) повышает быстродействие, уменьшая время регулирования;
- c) увеличивает затухание;
- d) понижает колебательность.