

**Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Московский физико-технический институт
(национальный исследовательский университет)»**

УТВЕРЖДЕНО

**Директор института-заместитель
директора ФАКТ**

М.А. Кудров

	Рабочая программа дисциплины (модуля)
по дисциплине:	Аналитические методы синтеза цифровых следящих систем
по направлению:	Техническая физика
профиль подготовки:	Радиолокационные технологии Физтех-школа авиационных и цифровых технологий кафедра технологий проектирования сложных технических систем
курс:	1
квалификация:	магистр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

1 (осенний) - Дифференцированный зачет

2 (весенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 90 всего, в том числе:

лекции: 90 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 90 час.

Всего часов: 180, всего зач. ед.: 4

Программу составил: А.В. Семенов, канд. техн. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры технологий проектирования сложных технических систем
11.04.2023

Аннотация

Дисциплина "Аналитические методы синтеза цифровых следящих систем" подразумевает под собой изучение следующего: конструктивные условия астатизма дискретных следящих систем по задающему воздействию и возмущениям; метод конструирования желаемых передаточных функций дискретных следящих систем на основе стандартных передаточных функций «непрерывных прототипов» с учетом заданных показателей качества и условий физической реализуемости; метод конструирования желаемых передаточных функций дискретных следящих систем с конечным временем переходного процесса; алгоритмически реализуемые методы аналитического синтеза дискретных следящих систем по заданным показателям качества в переходном и установившемся режимах; структура физически реализуемых цифровых устройств управления следящих систем; программа реализации процедуры аналитического синтеза цифровых следящих систем на ЭВМ.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

обучение студентов основным методам теории автоматического управления в области аналитического синтеза сложных цифровых следящих систем, разработки математических моделей цифровых следящих систем и их элементов и исследования их характеристик проведением математического моделирования в системе Matlab.

Задачи дисциплины

- познакомить обучающихся с понятием цифровых следящих систем;
- дать информацию о математическом описании следящих систем и её элементов;
- дать информацию об основных методах синтеза цифровых следящих систем, позволяющих повысить качество и эффективность функционирования следящих систем;
- познакомить обучающихся с принципами математического моделирования в системе Matlab;
- научить анализировать процессы, происходящие в цифровых следящих системах и её элементах в переходных и установившихся режимах;
- научить принимать и обосновывать конкретные технические решения при создании сложных цифровых следящих систем;
- научить оформлять результаты проектирования и моделирования.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-2 Способен демонстрировать и использовать углубленные теоретические и практические знания фундаментальных и прикладных наук, в том числе технической физики	ОПК-2.1 Обладает фундаментальными и прикладными знаниями в профильной области технической физики
	ОПК-2.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области профессиональной деятельности
	ОПК-2.3 Понимает междисциплинарные связи в области технической физики и способен их применять при решении практических задач
ОПК-5 Способен осваивать и применять современные физико-математические методы и методы искусственного интеллекта для решения профессиональных задач, составлять практические рекомендации по использованию полученных результатов	ОПК-5.1 Владеет современными расчетно-теоретическими методами, методами компьютерного моделирования и средами разработки программного обеспечения, применяемыми при решении задач в своей профессиональной области
	ОПК-5.2 Владеет аналитическими и вычислительными методами решения, способен обосновать эффективность выбранного метода
	ОПК-5.3 Знает принципы составления и правила оформления научно-технической документации

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- назначение, состав, параметры, характеристики, показатели качества, понятия устойчивости, управляемости, наблюдаемости, классификацию, основные принципы управления (по отклонению, по выходу и воздействиям и т.п.), обобщенные структурные схемы, типовые законы управления сложных цифровых следящих систем;
- математическое описание непрерывных и дискретных цифровых следящих систем;
- методы аналитического синтеза желаемых дискретных передаточных функций следящих систем по заданным показателям качества;
- методы синтеза цифровых устройств управления, реализующих типовые законы управления, принципы управления по отклонению, по выходу и воздействиям;
- основные процедуры, функции и инструменты системы Matlab, Matlab/Simulink, необходимые для решения задачи математического моделирования сложных цифровых следящих систем.

уметь:

- анализировать процессы, происходящие в цифровых следящих системах и её элементах в переходных и установившихся режимах;
- определять устойчивость и качество систем управления;
- разрабатывать математические модели линейных и нелинейных цифровых следящих систем и их элементов, рассчитывать параметры математических моделей;
- проводить синтез цифровых следящих систем и анализ их показателей качества;
- проводить анализ характеристик следящих систем при вариации параметров;
- классифицировать и определять ошибки слежения следящих систем;
- описывать законы управления цифровых и непрерывных регуляторов;
- проектировать цифровые следящие системы с заданными техническими характеристиками;
- оформлять результаты проектирования и моделирования.

владеть:

- навыками самостоятельно работать с учебной и справочной литературой;
- навыками расчета основных параметров математических моделей сложных цифровых следящих систем и её элементов;
- навыками исследования новых процессов, происходящих в цифровых следящих системах;
- навыками проектирования цифровых следящих систем;
- навыками математического и компьютерного моделирования сложных цифровых следящих систем и их элементов в системе Matlab и Matlab/Simulink.

4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Понятие следящих систем (СС). Принципы управления. Динамические звенья СС. Качество СС. Статические и астатические СС	20			20
2	Постановка задачи синтеза цифровых следящих систем (ЦСС). Обзор методов синтеза ЦСС	25			25
3	Методы синтеза желаемых передаточных функций. Теорема об астатизме ЦСС	20			20

4	Методы синтеза цифровых устройств управления (ЦУУ)	25			25
Итого часов		90			90
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		180 час., 4 зач.ед.			

4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 1 (Осенний)

1. Понятие следящих систем (СС). Принципы управления. Динамические звенья СС. Качество СС. Статические и астатические СС

Основные принципы управления (по воздействиям, по отклонению, по состоянию, комбинированное, по выходу и воздействиям). Типовые законы управления.

Понятие СС как системы автоматического управления. Структурная схема СС. Местные и главная обратные связи. Понятие минимально-фазовых и неминимально-фазовых СС. Понятия непрерывных, дискретных, цифровых СС. Показатели качества непрерывных и дискретных следящих систем.

Статические и астатические СС.

Выбор частоты дискретизации. Выбор шага квантования.

Математические модели динамических звеньев СС. Структурные схемы моделей. Определения временных и частотных характеристик динамических звеньев СС. Преобразования моделей ИМ.

Дифференциальные уравнения «вход-выход», передаточные функции, структурная схема, уравнения в переменных состояния, временные (переходная и импульсная) характеристики электромеханических исполнительных механизмов (ИМ) следящих систем (на примере однофазного электродвигателя постоянного тока).

Основы применения пакета Matlab, Matlab/Simulink. Примеры математических моделей динамических звеньев СС в пакете Matlab, Matlab/Simulink.

Разработка математических моделей ИМ СС в пакете Matlab, Matlab/Simulink.

2. Постановка задачи синтеза цифровых следящих систем (ЦСС). Обзор методов синтеза ЦСС

Постановка задачи синтеза ЦСС по заданным показателям качества. Структурные схемы синтезируемых ЦСС, реализующих принцип управления по отклонению, по выходу и воздействиям. Понятия одномерного и двумерного цифрового устройства управления (ЦУУ). Понятия дискретных объектов управления с «внутренними» и «внешними» нулями по управлению. Этапы и обобщенный алгоритм решения задачи синтеза ЦСС.

Семестр: 2 (Весенний)

3. Методы синтеза желаемых передаточных функций. Теорема об астатизме ЦСС

Передаточные функции астатических дискретных СС. Теорема об алгебраических условиях астатизма дискретных СС к задающему воздействию. Теорема об алгебраических условиях астатизма дискретных СС к возмущающему воздействию.

Графическое представление условий астатизма на основе треугольника Паскаля.

Метод построения желаемых передаточных функций дискретных следящих систем на основе «непрерывных прототипов».

Условия конечной длительности переходных процессов дискретных систем. Метод построения желаемых передаточных функций дискретных СС с конечным временем переходного процесса.

Разработка в пакете Matlab, Matlab/Simulink математических моделей ЦСС с желаемыми передаточными функциями и исследование их характеристик.

4. Методы синтеза цифровых устройств управления (ЦУУ)

Аналитический синтез ЦУУ на основе типовых законов управления.

Аналитический синтез ЦУУ, реализующих принцип управления по отклонению.

Аналитический синтез ЦУУ, реализующих принцип управления по выходу и воздействиям, для дискретных объектов управления с «внутренними» и «внешними» нулями по управлению.

Исследование показателей качества синтезированных ЦСС с применением пакета Matlab, Matlab/Simulink.

5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Для обеспечения освоения дисциплины необходимо наличие учебной аудитории, снабженной мультимедийными средствами для представления презентаций.

Технические и другие средства обучения:

1. Проектор.
2. Маркерная доска.
3. Персональные компьютеры со следующим программным обеспечением:
 - ОС Windows не ниже 7 версии;
 - Matlab, Matlab/Simulink не ниже версии 2014.

6. Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Современная теория автоматического управления и ее применение [Текст]/Д. Сю, А. Мейер, пер. с англ. В. С. Бочкова [и др.], -М., Машиностроение, 1972

Дополнительная литература

1. Информационная теория синтеза оптимальных систем контроля и управления [Текст], непрерывные системы/В. В. Петров, А. С. Усков, -М., Энергия, 1975
2. Теория и проектирование цифровых систем управления [Текст]/Б. Куо, -М., Машиностроение, 1986

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

Не используются

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

Matlab, Matlab/Simulink не ниже версии 2014.

9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Самостоятельная работа по лекционному материалу, обсуждение возникших вопросов с преподавателем.

Самостоятельная работа включает в себя:

- проработку учебного материала по лекциям;
- ознакомление с рекомендованной литературой и публикациями, а также другими доступными источниками сведений по изучаемому курсу;
- подготовку к дифференцированному зачету.

Контроль за самостоятельной работой студента осуществляется в форме практических занятий, курсового проекта и дифференцированного зачета.

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Техническая физика
профиль подготовки:	Радиолокационные технологии Физтех-школа авиационных и цифровых технологий кафедра технологий проектирования сложных технических систем
курс:	<u>1</u>
квалификация:	магистр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

- 1 (осенний) - Дифференцированный зачет
- 2 (весенний) - Дифференцированный зачет

Разработчик: А.В. Семенов, канд. техн. наук

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-2 Способен демонстрировать и использовать углубленные теоретические и практические знания фундаментальных и прикладных наук, в том числе технической физики	ОПК-2.1 Обладает фундаментальными и прикладными знаниями в профильной области технической физики
	ОПК-2.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области профессиональной деятельности
	ОПК-2.3 Понимает междисциплинарные связи в области технической физики и способен их применять при решении практических задач
ОПК-5 Способен осваивать и применять современные физико-математические методы и методы искусственного интеллекта для решения профессиональных задач, составлять практические рекомендации по использованию полученных результатов	ОПК-5.1 Владеет современными расчетно-теоретическими методами, методами компьютерного моделирования и средами разработки программного обеспечения, применяемыми при решении задач в своей профессиональной области
	ОПК-5.2 Владеет аналитическими и вычислительными методами решения, способен обосновать эффективность выбранного метода
	ОПК-5.3 Знает принципы составления и правила оформления научно-технической документации

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Аналитические методы синтеза цифровых следящих систем» обучающийся должен:

знать:

- назначение, состав, параметры, характеристики, показатели качества, понятия устойчивости, управляемости, наблюдаемости, классификацию, основные принципы управления (по отклонению, по выходу и воздействиям и т.п.), обобщенные структурные схемы, типовые законы управления сложных цифровых следящих систем;
- математическое описание непрерывных и дискретных цифровых следящих систем;
- методы аналитического синтеза желаемых дискретных передаточных функций следящих систем по заданным показателям качества;
- методы синтеза цифровых устройств управления, реализующих типовые законы управления, принципы управления по отклонению, по выходу и воздействиям;
- основные процедуры, функции и инструменты системы Matlab, Matlab/Simulink, необходимые для решения задачи математического моделирования сложных цифровых следящих систем.

уметь:

- анализировать процессы, происходящие в цифровых следящих системах и её элементах в переходных и установившихся режимах;
- определять устойчивость и качество систем управления;
- разрабатывать математические модели линейных и нелинейных цифровых следящих систем и их элементов, рассчитывать параметры математических моделей;
- проводить синтез цифровых следящих систем и анализ их показателей качества;
- проводить анализ характеристик следящих систем при вариации параметров;
- классифицировать и определять ошибки слежения следящих систем;
- описывать законы управления цифровых и непрерывных регуляторов;
- проектировать цифровые следящие системы с заданными техническими характеристиками;
- оформлять результаты проектирования и моделирования.

владеть:

- навыками самостоятельно работать с учебной и справочной литературой;
- навыками расчета основных параметров математических моделей сложных цифровых следящих систем и её элементов;
- навыками исследования новых процессов, происходящих в цифровых следящих системах;
- навыками проектирования цифровых следящих систем;
- навыками математического и компьютерного моделирования сложных цифровых следящих систем и их элементов в системе Matlab и Matlab/Simulink.

3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

- 1) Основные принципы управления. Типовые законы управления. Понятие следящей системы (СС). Структурная схема следящей системы. Местные и главная обратные связи.
- 2) Статические и астатические СС. Минимально-фазовые и неминимально-фазовые СС. Непрерывные, дискретные, цифровые СС (ЦСС). Физическая реализуемость цифровых следящих систем.
- 3) Показатели качества непрерывных и дискретных следящих систем.
- 4) Определение реакций непрерывных систем. Определение реакций дискретных систем. Временные характеристики динамических звеньев СС. Частотные характеристики динамических звеньев СС. Выбор частоты дискретизации, шага квантования ЦСС.
- 5) Преобразование математических моделей «вход-выход» к модели в переменных состояния.
- 6) Определение уравнений систем по уравнениям в переменных состояния. Преобразования структурных схем динамических звеньев следящих систем
- 7) Способ расчета коэффициентов с младшими индексами дискретных передаточных функций для обеспечения заданного порядка астатизма.
- 8) Способ расчета коэффициентов со старшими индексами дискретных передаточных функций для достижения заданного порядка астатизма.

4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся

- 1) Преобразования структурных схем динамических звеньев следящих систем.
- 2) Постановка задачи синтеза ЦСС по заданным показателям качества.
- 3) Дискретные объекты управления с «внутренними» и «внешними» нулями по управлению.
- 4) Этапы и обобщенный алгоритм решения задачи синтеза ЦСС.
- 5) Теорема об алгебраических условиях астатизма дискретных СС к задающему воздействию.
- 6) Теорема об алгебраических условиях астатизма дискретных СС к возмущающему воздействию.
- 7) Графическое представление условий астатизма на основе треугольника Паскаля.
- 8) Метод построения желаемых передаточных функций дискретных следящих систем на основе «непрерывных прототипов».
- 9) Условия конечной длительности переходных процессов дискретных систем. Метод построения желаемых передаточных функций дискретных СС с конечным временем переходного процесса.
- 10) Аналитический синтез цифровых устройств управления (ЦУУ) на основе типовых законов управления.
- 11) Аналитический синтез ЦУУ, реализующих принцип управления по отклонению.
- 12) Аналитический синтез ЦУУ, реализующих принцип управления по выходу и воздействиям, для случая дискретного объекта управления с «внутренними» нулями.
- 13) Аналитический синтез ЦУУ, реализующих принцип управления по выходу и воздействиям, для случая дискретного объекта управления с «внешними» нулями.

Билет 1

- 1) Аналитический синтез цифровых устройств управления (ЦУУ) на основе типовых законов управления.
- 2) Аналитический синтез ЦУУ, реализующих принцип управления по отклонению.

Билет 2

- 1) Аналитический синтез ЦУУ, реализующих принцип управления по выходу и воздействиям, для случая дискретного объекта управления с «внутренними» нулями.
- 2) Аналитический синтез ЦУУ, реализующих принцип управления по выходу и воздействиям, для случая дискретного объекта управления с «внешними» нулями.

Билет 3

- 1) Алгоритм работы одномерного устройства управления.
- 2) Алгоритм работы двумерного устройства управления.

Критерии оценивания

Оценка отлично (10) выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично (9) выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично (8) выставляется студенту, показавшему систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочетами.

Оценка хорошо (7) выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.

Оценка хорошо (6) выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности.

Оценка хорошо (5) выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.

Оценка удовлетворительно (4) выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы, необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

Оценка удовлетворительно (3) выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, допускающему ошибки в формулировках базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.

Оценка неудовлетворительно (2) выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.

Оценка неудовлетворительно (1) выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубейшие ошибки в формулировках базовых понятий дисциплины и вообще не имеет навыков решения типовых практических задач.

5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Дифференцированный зачет проводится в устной форме.

При проведении дифференцированного зачета обучающемуся предоставляется не менее 60 минут на подготовку. Опрос обучающегося на дифференцированном зачете не должен превышать двух астрономических часов.

Во время проведения дифференцированного зачета обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины.