

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

УТВЕРЖДЕНО

**Директор физтех-школы
радиотехники и компьютерных
технологий**

Д.А. Гаврилов

	Рабочая программа дисциплины (модуля)
по дисциплине:	Основы цифровой обработки сигналов
по направлению:	Инфокоммуникационные технологии и системы связи
профиль подготовки:	Телекоммуникационные сети и системы Физтех-школа Радиотехники и Компьютерных Технологий центр образовательных программ ФРКТ
курс:	1
квалификация:	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 1 (осенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 30 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Количество контрольных работ, заданий: 2

Программу составил: Т.А. Тормагов, старший преподаватель

Программа обсуждена на заседании центра образовательных программ ФРКТ 08.11.2024

Аннотация

В курсе лекций, читаемых студентам ФРКТ рассматриваются:

- теоретические основы цифровой обработки сигналов (ОЦОС), способы описания дискретных и цифровых сигналов и систем во временной, Z – и частотной областях, включая дискретное во времени преобразование Фурье, дискретное и быстрое преобразование Фурье;
- проведено практическое наполнение этих преобразований на многочисленных примерах, упражнениях и задачах
- основные методы преобразования аналоговых (в том числе полосовых) сигналов в цифровую форму;
- дискретизация случайных сигналов;
- интерфейс ввода- вывода для систем ЦОС реального времени;
- основные методы анализа и синтеза линейных цифровых фильтров;
- понятия о многоскоростных системах ЦОС

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

- изучение основ цифровой обработки сигналов (ЦОС).

Задачи дисциплины

- освоение студентами базовых знаний в области цифровой обработки сигналов;
- приобретение теоретических знаний в области цифровой обработки сигналов, оказание консультаций и помощи студентам в проведении собственных теоретических и экспериментальных исследований ЦОС;
- приобретение навыков решения практических задач ЦОС.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий	УК-1.2 Осуществляет поиск вариантов решения поставленной проблемной ситуации на основе доступных источников информации
	УК-1.3 Разрабатывает стратегию достижения поставленной цели как последовательность шагов, предвидя результат каждого из них и оценивая их влияние на внешнее окружение планируемой деятельности и на взаимоотношения участников этой деятельности
УК-6 Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки	УК-6.2 Оценивает свою деятельность, соотносит цели, способы и средства выполнения деятельности с её результатами
ОПК-2 Способен реализовывать новые принципы и методы исследования современных инфокоммуникационных систем и сетей различных типов передачи, распределения, обработки и хранения информации	ОПК-2.2 Владеет навыками реализации новых принципов и методов исследования в современных инфокоммуникационных системах и сетях
	ОПК-2.3 Владеет передовым отечественным и зарубежным опытом исследования современных инфокоммуникационных систем
ОПК-3 Способен приобретать, обрабатывать и использовать новую информацию в своей предметной области, предлагать новые идеи и подходы к решению задач своей профессиональной деятельности	ОПК-3.2 Способен системно анализировать полученную информацию, использовать исследовательские методы при решении новых задач, применяя знания в различных областях науки и техники

ПК-2 Способен самостоятельно или в качестве члена (руководителя) малого коллектива организовывать и проводить научные исследования и их апробацию	ПК-2.2 Способен проводить апробацию результатов научно-исследовательской работы посредством публикации научных статей и (или) участия в конференциях
ПК-3 Способен профессионально работать с исследовательским и испытательным оборудованием (приборами и установками, специализированными пакетами прикладных программ) в избранной предметной области	ПК-3.2 Способен проводить эксперимент (моделирование) с использованием исследовательского оборудования (пакетов прикладных программ) ПК-3.3 Способен оценивать точность полученных экспериментальных (численных) результатов

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- фундаментальные понятия и методы цифровой обработки сигналов, математический аппарат анализа современных цифровых систем;
- экспериментальные основы реализации цифровых устройств.

уметь:

- пользоваться своими знаниями для решения фундаментальных и прикладных задач ЦОС;
- делать правильные выводы из сопоставления результатов теории и эксперимента;
- производить численные оценки предельных параметров цифровых систем;
- видеть в технических задачах физическое содержание;
- осваивать новые области применения ЦОС, теоретические подходы и экспериментальные методики.
- получать наилучшие значения измеряемых величин и правильно оценить степень их достоверности;
- работать на современном, в том числе и уникальном экспериментальном оборудовании;
- эффективно использовать информационные технологии и компьютерную технику для достижения необходимых теоретических и прикладных результатов.

владеть:

- навыками самостоятельной работы в избранном научно-техническом направлении.
- культурой постановки и моделирования задач ЦОС;
- навыками грамотной обработки результатов эксперимента и сопоставления с теоретическими данными;
- навыками освоения большого объема информации.

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	Дискретизация аналоговых сигналов. Решение задач	8			10
2	Дискретные преобразования Фурье. Решение задач	10			10
3	Интерфейс ввода-вывода систем ЦОС реального времени. Решение задач	12			10
Итого часов		30			30
Подготовка к экзамену		30 час.			
Общая трудоёмкость		90 час., 2 зач.ед.			

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

Семестр: 1 (Осенний)

1. Дискретизация аналоговых сигналов. Решение задач

Сигналы и системы с дискретным временем.
Дискретизация аналоговых сигналов.

2. Дискретные преобразования Фурье. Решение задач

Дискретное во времени преобразование Фурье (ДВПФ).
Дискретное преобразование Фурье (ДПФ).

3. Интерфейс ввода-вывода систем ЦОС реального времени. Решение задач

Аналоговый интерфейс ввода-вывода систем ЦОС реального времени. Аналоговые фильтры защиты от наложения спектров.

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

Лекционная аудитория с проекционным оборудованием и доступом в сеть Интернет.

6. Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Основы цифровой обработки сигналов [Текст] : в 3 ч. : учеб. пособие для вузов / Ю. Романюк ; М-во образования и науки РФ, Моск. физ.-техн. ин-т (гос. ун-т) .— 2-е изд., перераб. — М. : МФТИ, 2007 .— Ч. 1 : Свойства и преобразования дискретных сигналов. - 2007. - 332 с.
2. Дискретное преобразование Фурье в цифровом спектральном анализе [Текст] : учеб. пособие для вузов / Ю. А. Романюк ; М-во образования и науки Рос. Федерации, Фед. агентство по образованию, Моск. физ.-техн. ин-т (гос. ун-т) .— М. : МФТИ, 2007 .— 120 с.
3. Цифровая обработка сигналов [Текст] / А. Б. Сергиенко - СПб.Питер, 2006, 2007

Дополнительная литература

1. Цифровая обработка сигналов [Текст] = Discrete-Time Signal Processing : [учеб. пособие для вузов] / А. Оппенгейм, Р. Шафер ; пер. с англ. под ред. С. Ф. Боева .— 3-е изд., испр. — М. : Техносфера, 2012 .— 1048 с.
- Марпл-мл. С.Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения. М. Мир 1990. — 584 с.

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

Видеолекции на сайте МФТИ <http://lectoriy.mipt.ru>

- Романюк Ю.А. «Основы цифровой обработки сигналов» в 2014г.
- Романюк Ю.А. «Цифровая обработка сигналов» в 2015г.

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

Программное обеспечение:

пакет прикладных программ MATLAB,

дистрибутив Anaconda для языка программирования Python 3,

пакет GNU Octave.

Онлайн-сервисы для компьютерного моделирования:

Google Colaboratory <http://colab.research.google.com/>,

MATLAB Online <https://www.mathworks.com/>.

Системы дистанционного обучения:

LMS Google Classroom (Система управления обучением),

Google Hangouts Meet (сервис видеоконференцсвязи).

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

Курс является лекционным, после каждой лекции предлагаются несколько практических задач для самостоятельного решения. Конспекты лекции по курсу регулярно публикуются на сайте кафедры <http://kprf.mipt.ru/> (раздел «Учебные курсы / Основы цифровой обработки сигналов»). Самостоятельная работа включает в себя решение задач, чтение рекомендованной литературы, подготовку к курсовой работе.

Для организации учебного процесса используется система управления обучением LMS Google Classroom, доступ осуществляется с помощью Google аккаунта в домене @phystech.edu. Обучающимся рекомендуется ознакомиться с учебными материалами на сайте кафедры <http://kprf.mipt.ru/> (разделы «Материалы / Лабораторные работы», «Учебные курсы / Дискретные преобразования сигналов», «Учебные курсы / Основы цифровой обработки сигналов»).

В том числе рекомендуем прочитать:

Цифровая обработка сигналов и Matlab: Курс лекций / Авторы Солонина А.И. и др. – СПб.: БХВ–Петербург, 2013

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Инфокоммуникационные технологии и системы связи
профиль подготовки:	Телекоммуникационные сети и системы Физтех-школа Радиотехники и Компьютерных Технологий центр образовательных программ ФРКТ
курс:	<u>1</u>
квалификация:	магистр
Семестр, формы промежуточной аттестации: 1 (осенний) - Экзамен	
Разработчик:	Т.А. Тормагов, старший преподаватель

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий	УК-1.2 Осуществляет поиск вариантов решения поставленной проблемной ситуации на основе доступных источников информации
	УК-1.3 Разрабатывает стратегию достижения поставленной цели как последовательность шагов, предвидя результат каждого из них и оценивая их влияние на внешнее окружение планируемой деятельности и на взаимоотношения участников этой деятельности
УК-6 Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки	УК-6.2 Оценивает свою деятельность, соотносит цели, способы и средства выполнения деятельности с её результатами
ОПК-2 Способен реализовывать новые принципы и методы исследования современных инфокоммуникационных систем и сетей различных типов передачи, распределения, обработки и хранения информации	ОПК-2.2 Владеет навыками реализации новых принципов и методов исследования в современных инфокоммуникационных системах и сетях
	ОПК-2.3 Владеет передовым отечественным и зарубежным опытом исследования современных инфокоммуникационных систем
ОПК-3 Способен приобретать, обрабатывать и использовать новую информацию в своей предметной области, предлагать новые идеи и подходы к решению задач своей профессиональной деятельности	ОПК-3.2 Способен системно анализировать полученную информацию, использовать исследовательские методы при решении новых задач, применяя знания в различных областях науки и техники
ПК-2 Способен самостоятельно или в качестве члена (руководителя) малого коллектива организовывать и проводить научные исследования и их апробацию	ПК-2.2 Способен проводить апробацию результатов научно-исследовательской работы посредством публикации научных статей и (или) участия в конференциях
ПК-3 Способен профессионально работать с исследовательским и испытательным оборудованием (приборами и установками, специализированными пакетами прикладных программ) в избранной предметной области	ПК-3.2 Способен проводить эксперимент (моделирование) с использованием исследовательского оборудования (пакетов прикладных программ)
	ПК-3.3 Способен оценивать точность полученных экспериментальных (численных) результатов

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Основы цифровой обработки сигналов» обучающийся должен:

знать:

- фундаментальные понятия и методы цифровой обработки сигналов, математический аппарат анализа современных цифровых систем;
- экспериментальные основы реализации цифровых устройств.

уметь:

- пользоваться своими знаниями для решения фундаментальных и прикладных задач ЦОС;
- делать правильные выводы из сопоставления результатов теории и эксперимента;
- производить численные оценки предельных параметров цифровых систем;
- видеть в технических задачах физическое содержание;
- осваивать новые области применения ЦОС, теоретические подходы и экспериментальные методики.
- получать наилучшие значения измеряемых величин и правильно оценить степень их достоверности;
- работать на современном, в том числе и уникальном экспериментальном оборудовании;
- эффективно использовать информационные технологии и компьютерную технику для достижения необходимых теоретических и прикладных результатов.

владеть:

- навыками самостоятельной работы в избранном научно-техническом направлении.
- культурой постановки и моделирования задач ЦОС;
- навыками грамотной обработки результатов эксперимента и сопоставления с теоретическими данными;
- навыками освоения большого объема информации.

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

Текущий контроль по курсу «Основы цифровой обработки сигналов» проводится в виде двух контрольных работ и решения задач, предлагаемых на каждой лекции.

Контрольные работы проводятся одновременно для всех студентов. В семестре проводится две контрольные работы. Каждому студенту предлагается индивидуальный вариант контрольной работы, состоящий из трех задач по прочитанным лекциям.

Примеры вариантов контрольных работ.

Контрольная работа №1.

№1. Теоретический вопрос. Цифро-налоговое преобразование с запасом по частоте. Реализация в проигрывателях компакт-дисков.

№2. Сформулировать и доказать теорему об изменении масштаба для ДВПФ.

№3. Дана конечная последовательность $x(k)$ в виде пяти отсчетов прямоугольного импульса.

а) Найти и изобразить по модулю ДВПФ этой последовательности.

б) Найти и изобразить по модулю ДВПФ для периодического повторения этой последовательности с периодом $N=5$.

Контрольная работа №2.

№1. Теоретический вопрос. Полосовой рекурсивный КИХ-фильтр. Передаточная функция, разностное уравнение, блок-схема реализации. Импульсная и частотная характеристики.

№2. Определить отклик на единичный импульс и на дискретную функцию включения фильтра, разностное уравнение которого $y(k) - 0,5y(k-1) = x(k)$, $y(-1) = 0$.

№3. Показать, что линейная фазочастотная характеристика фильтра соответствует полюсу или нулю передаточной функции $H(z)$ при $|z| < 1$. Привести примеры.

2. Решение задач, предлагаемых на каждой лекции. Ежеженедельно студент представляет самостоятельное решение 2-3 задач (30-40 задач за семестр). Это могут быть аналитические решения, либо решения с цифровым моделированием (в MATLAB, Python).

Примеры задач.

№1. Фильтр описывается разностным уравнением $y(k) - a y(k-1) = x(k)$, $y(-1) = 0$. Найти импульсную характеристику фильтра и определить условия устойчивости и физической реализуемости.

№2. Сформулировать и доказать теорему Котельникова в частотной области.

№3. В цифровых системах для N -точечной последовательности отсчеты спектральной функции $X(v)$ в точках $n\Delta v$, $\Delta v = 1/N$, совпадают с коэффициентами ДПФ $X(n)$. Показать, что для действительной последовательности $x(k)$ инверсия спектра $X(n)$ осуществляется путем простого изменения знака каждого второго отсчета $x(k)$.

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

1. Идеальная дискретизация. Спектр дискретизованного сигнала.
2. Представление сигналов рядами по функциям отсчетов. Теорема Котельникова (финитный и нефинитный спектры).
3. Дискретизаторы с конечным временем выборки. Дискретизаторы с устройством выборки хранения и стробированием. Дискретизация с усреднением.
4. Дискретизация синусоидальных сигналов. Эффект наложения.
5. Дискретизация в частотной области.
6. Комплексное представление колебаний. Преобразование Гильберта. Комплексная огибающая и ее спектр.
7. Дискретизация полосовых радиосигналов.
8. Дискретизация аналитического сигнала.

9. Квадратурная дискретизация. Формирования отсчетов квадратур из отсчетов узкополосного колебания. Интерпретация в частотной области
10. Субдискретизация полосовых радиосигналов, выбор частоты дискретизации. Субдискретизация полосовых сигналов с целочисленной полосой. Субдискретизация с квадратурной демодуляцией. Выбор частоты дискретизации.
11. Оценка спектра по дискретным отсчетам сигнала. Конечное число отсчетов. Явление Гиббса. Ядро Дирихле и ядро Фейера.
12. Дискретное во времени преобразование Фурье (ДВПФ). Четыре формы записи ДВПФ. Основные спектральные теоремы и свойства ДВПФ.
13. Сходимость ДВПФ.
14. Восстановление сигнала по дискретным отсчетам. Идеальный и реальные фильтры восстановления.
15. Каузальная аппроксимация идеального фильтра нижних частот.
16. Фильтры Баттерворта и Чебышева.
17. Восстановление сигналов путем интерполяции. Кусочно-ступенчатая и кусочно-линейная интерполяция.
18. Аналого-цифровой преобразователь (АЦП). Устройство выборки-хранения.
19. Характеристики квантователя при использовании округления и усечения.
20. Ошибка квантования. Статистические характеристики ошибки квантования.
21. Разрешающая способность АЦП. Динамический диапазон.
22. Применение АЦП с повышенной частотой дискретизации для упрощения аналогового фильтра защиты от наложения спектров (примеры).
23. Многоскоростная обработка.
24. Цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП). ЦАП как НЧ фильтр.

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. Главный критерий - результаты письменной работы в конце семестра (должны быть решены все 3 задачи в билете). Учитывается количество и качество решений задач, предложенных на лекциях. За семестр каждому студенту (120 чел.) предлагается представить решения 20 задач.

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. Главный критерий - результаты письменной работы в конце семестра (должны быть решены все 3 задачи в билете). Должны представлены решения не менее 15 (из предложенных 20) задач, предложенных на лекциях.

Оценка "отлично (8)" выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочетами. Главный критерий - результаты письменной работы в конце семестра (должны быть решены все 3 задачи в билете с некоторыми недочетами). Учитывается количество и качество решений задач, предложенных на лекциях.

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. Главный критерий - результаты письменной работы в конце семестра (должны быть решены 2 из 3-х задач в билете). Учитывается количество и качество решений задач, предложенных на лекциях.

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. Главный критерий - результаты письменной работы в конце семестра (должны быть решены 2 из 3-х задач в билете). Учитывается количество и качество решений задач, предложенных на лекциях.

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. Главный критерий - результаты письменной работы в конце семестра (должны быть решены 1,5 - 2 из 3 задач в билете). Учитывается количество и качество решений задач, предложенных на лекциях.

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. Главный критерий - результаты письменной работы в конце семестра (должны быть решены 1-2 из 3-х задач в билете). Учитывается количество и качество решений задач, предложенных на лекциях.

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. Главный критерий - результаты письменной работы в конце семестра (должна быть решена 1 из 3-х задач в билете). Учитывается количество и качество решений задач, предложенных на лекциях.

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. Главный критерий - результаты письменной работы в конце семестра (не решена ни одна из трёх задач в билете). Не представлены решения задач, предложенных на лекциях.

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. Главный критерий - результаты письменной работы в конце семестра (не решена ни одна из трёх задач в билете). Не представлены решения задач, предложенных на лекциях.

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

Во время проведения экзамена обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины, а также справочной литературой, вычислительной техникой, конспектами лекций.

Экзамен проводится путем устного обсуждения написанной ранее письменной работы. Учитывается количество и качество решений задач, предложенных на лекциях.

Экзаменационный билет.

Основы цифровой обработки сигналов.

№1. Теоретический вопрос. Нерекурсивный фильтр 2-го порядка: передаточная функция, разностное уравнение, АЧХ, ФЧХ, импульсная и переходная характеристики.

№2. В цифровых системах для N -точечной последовательности отсчеты спектральной функции $X(\nu)$ в точках $n\Delta\nu$, $\Delta\nu=1/N$, совпадают с коэффициентами ДПФ $X[n]$. Показать, что для действительной последовательности $x[k]$ инверсия спектра $X[n]$ осуществляется путем простого изменения знака каждого второго отсчета $x[k]$.

№3. Определить отклик на единичный импульс и на дискретную функцию включения фильтра, разностное уравнение которого $y[k] - 0,5y[k-1] = x[k]$, $y[-1]=0$.