

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

УТВЕРЖДЕНО

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

А.В. Дворкович

Рабочая программа дисциплины (модуля)

по дисциплине:	Цифровые системы передачи информации на основе сигнала с одной несущей частотой
по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Радиотехника и компьютерные технологии Физтех-школа Радиотехники и Компьютерных Технологий кафедра мультимедийных технологий и телекоммуникаций
курс:	4
квалификация:	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 7 (осенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 45 всего, в том числе:

лекции: 15 час.

семинары: 30 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 45 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Программу составил: Л.А. Антюфьева, ассистент

Программа обсуждена на заседании кафедры мультимедийных технологий и телекоммуникаций 01.03.2020

Аннотация

Данный курс предназначен для изучения основных принципов построения и математических основ функционирования современных цифровых систем вещания, а также изучения их структуры и параметров. В рамках данного курса будет рассмотрена общая структура цифровых систем вещания, основы помехоустойчивого кодирования, методы модуляции цифровой информации в системах вещания. Студенты изучат стандарты цифрового вещания первого и второго поколения, а также современные стандарты цифрового, звукового и мультимедийного вещания. В результате изучения данного курса студенты будут обладать достаточными знаниями для построения, эксплуатации и технического обслуживания, а также для изучения перспективных систем цифрового вещания.

Курс проходит в формате лекционных, семинарских и лабораторных занятий. Для успешного прохождения данного курса необходимо посещение и конспектирование лекций и своевременное выполнение практических работ, а также самостоятельная работа с дополнительной литературой.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

Познакомить обучающихся с основными принципами моделирования цифровых систем связи на примере сигнала с одной несущей.

Задачи дисциплины

- Изучение основных принципов и алгоритмов цифровой системы передачи информации на основе сигнала с одной несущей частотой.
- Освоение обучающимися основных методов построения систем передачи данных.
- Ознакомление с особенностями построения систем передачи данных.
- Знакомство с инструментами моделирования математических систем Matlab

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1 Анализирует задачу, выделяя этапы ее решения, действия по решению задачи
	УК-1.2 Находит, критически анализирует и выбирает информацию, необходимую для решения поставленной задачи
	УК-1.3 Рассматривает различные варианты решения задачи, оценивает их преимущества и недостатки
	УК-1.4 Грамотно, логично, аргументированно формирует собственные суждения и оценки
	УК-1.5 Определяет и оценивает практические последствия возможных вариантов решения задачи
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.1 Способен анализировать поставленную задачу, намечать пути ее решения
	ОПК-1.2 Способен строить математические модели, производить количественные расчеты и оценки
	ОПК-1.3 Способен определять границы применимости полученных результатов
ОПК-4 Способен осуществлять сбор и обработку научно-технической и (или) технологической информации для решения фундаментальных и прикладных задач	ОПК-4.1 Владеет методами научного поиска и интеллектуального анализа информации при решении задач профессиональной деятельности
	ОПК-4.4 Владеет навыками работы с компьютером и компьютерными сетями с целью получения, хранения и обработки научной (технической, технологической) информации

ПК-4 Способен критически оценивать применимость используемых методик и методов	ПК-4.1 Знает численные порядки величин, характерных для соответствующей профессиональной области
	ПК-4.3 Способен обосновать причинно-следственные отношения используемых понятий и моделей

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- общую структуру цифровых систем передачи данных;
- область применения цифровой системы передачи данных с одной несущей частотой
- базовые алгоритмы, применяемые в построении модели и прототипов цифровой системы передачи данных с одной несущей частотой;
- особенности, аппаратные и принципиальные ограничения, влияющие на разработку цифровой системы передачи данных с одной несущей.

уметь:

- применять знания основных алгоритмов физического уровня при построении модели систем цифровой передачи данных с одной несущей.

владеть:

- Базовыми навыками проектирования цифровой системы связи;
- алгоритмами кодирования, модуляции, фильтрации, временной синхронизации и восстановления несущей в системе цифровой передачи данных с одной несущей.

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	Цифровые системы передачи данных	1			1
2	Сигнальное созвездие. Отображение информационного сигнала на созвездие	2	4		6
3	Энергетики линии связи. Метрологическое исследование сигнала	2	4		6
4	Сигнальное созвездие. Восстановление информационного сигнала из сигнального созвездия	2	4		6
5	Формирование сигнала на выходе передатчика	2	4		6
6	Символьная (временная) синхронизация	2	5		7
7	Кадровая синхронизация	2	4		6
8	Восстановление несущей	2	5		7
Итого часов		15	30		45
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		90 час., 2 зач.ед.			

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

1. Цифровые системы передачи данных

Особенности цифрового и аналогового сигнала. Амплитудная, частотная и фазовая модуляция. Теорема Котельникова (Найквиста — Шеннона). Схема и назначение ключевых блоков цифровой системы передачи данных.

2. Сигнальное созвездие. Отображение информационного сигнала на созвездие

Фазовая модуляция (Phase Shift Keying – PSK). Амплитудно-фазовая модуляция (Amplitude Phase Shift Keying – APSK). Квадратурно-амплитудная модуляция (Quadrature Amplitude Modulation – QAM). Сигнальные созвездия их особенности и применения. Код Грея.

3. Энергетики линии связи. Метрологическое исследование сигнала

Расчет энергетики линии связи. Аддитивный белый гауссовский шум. Метрологическое исследование сигнала: битовая ошибка (Bit Error Ration – BER), ошибка модуляции (Modulation Error Ration – MER).

4. Сигнальное созвездие. Восстановление информационного сигнала из сигнального созвездия

Восстановление информационного сигнала из сигнального созвездия. Жесткое и мягкое решение при демодуляции сигнала. Метод максимального правдоподобия (Maximum Likelihood Estimation – MLE).

5. Формирование сигнала на выходе передатчика

Формирование полосы сигнала. Межсимвольная интерференция (Intersymbol Interference – ISI). Фильтрация. Согласованная фильтрация.

6. Символьная (временная) синхронизация

Временной рассинхронизации. Детектор Гарднера.

7. Кадровая синхронизация

Кадровая структура сигнала. Алгоритмы кадровой синхронизации.

8. Восстановление несущей

Частотная и фазовая рассинхронизации. Алгоритмы восстановления несущей. Связь структуры кадра со скоростью и точностью восстановления несущей.

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

Восстановление информационного сигнала из сигнального созвездия. Жесткое и мягкое решение при демодуляции сигнала. Метод максимального правдоподобия (Maximum Likelihood Estimation – MLE).

6.Перечень рекомендуемой литературы

Основная 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.
2. MATLAB и SIMULINK для радиоинженеров [Текст]/В. П. Дьяконов, -М., ДМК Пресс, 2016
3. Цифровая обработка сигналов [Текст] / А. Б. Сергиенко - СПб.Питер,2006, 2007

Дополнительная литература

1. Цифровая связь : Теоретические основы и практическое применение[Текст] : [учеб. пособие для вузов] / Б. Скляр ; [пер. с англ. Е. Г. Грозы [и др.] ; под ред. А. В. Назаренко] .— 2-е изд., испр. — М. : Вильямс, 2007 .— 1104 с.
2. 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.
3. Цифровые видеоинформационные системы (теория и практика) [Текст]/В. П. Дворкович, А. В. Дворкович, -М., Техносфера, 2012

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

1. <http://lib.mipt.ru> – электронная библиотека Физтеха
2. <http://www.edu.ru> – федеральный портал «Российское образование».
3. <http://benran.ru> – библиотека по естественным наукам Российской академии наук.
4. <http://minsvyaz.ru/ru/documents/> – нормативно-правовые документы Министерства связи и массовых коммуникаций Российской Федерации
5. <http://www.itu.int/pub/T-REC/> – Рекомендации Сектора стандартизации телекоммуникаций Международного союза электросвязи МСЭ-Т
6. <http://www.itu.int/pub/R-REC/> – Рекомендации Сектора радиосвязи Международного союза электросвязи МСЭ-R
7. <http://www.etsi.org/standards-search/> – стандарты Европейского института стандартизации телекоммуникаций ETSI
8. <http://www.ietf.org/rfc.html/> – документы инженерной рабочей группы Интернет RFC IETF
9. <https://www.mathworks.com/discovery/sdr.html/> - форум MatLab SDR

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

В процессе практических занятий используются программные пакеты Matlab.

Примеры расчетов типовых задач также приводятся в среде Matlab

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

Успешное освоение курса требует большой самостоятельной работы студента. В программе курса приведено минимально необходимое время для работы студента над темой.

Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение и конспектирование рекомендованной литературы,
- проработку учебного материала (по конспектам лекций, семинаров, учебной и научной литературе);
- решение задач, предлагаемых студентам на лекциях и практических занятиях,
- выполнение работ в выбранных программных средах,
- подготовку к контрольным, самостоятельным работам и тестам.

Руководство и контроль за самостоятельной работой студента осуществляется в результате анализа итогов контрольных, самостоятельных работ, а также индивидуальных консультаций.

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Радиотехника и компьютерные технологии Физтех-школа Радиотехники и Компьютерных Технологий кафедра мультимедийных технологий и телекоммуникаций
курс:	4
квалификация:	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 7 (осенний) - Дифференцированный зачет

Разработчик: Л.А. Антюфьева, ассистент

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1 Анализирует задачу, выделяя этапы ее решения, действия по решению задачи
	УК-1.2 Находит, критически анализирует и выбирает информацию, необходимую для решения поставленной задачи
	УК-1.3 Рассматривает различные варианты решения задачи, оценивает их преимущества и недостатки
	УК-1.4 Грамотно, логично, аргументированно формирует собственные суждения и оценки
	УК-1.5 Определяет и оценивает практические последствия возможных вариантов решения задачи
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.1 Способен анализировать поставленную задачу, намечать пути ее решения
	ОПК-1.2 Способен строить математические модели, производить количественные расчеты и оценки
	ОПК-1.3 Способен определять границы применимости полученных результатов
ОПК-4 Способен осуществлять сбор и обработку научно-технической и (или) технологической информации для решения фундаментальных и прикладных задач	ОПК-4.1 Владеет методами научного поиска и интеллектуального анализа информации при решении задач профессиональной деятельности
	ОПК-4.4 Владеет навыками работы с компьютером и компьютерными сетями с целью получения, хранения и обработки научной (технической, технологической) информации
ПК-4 Способен критически оценивать применимость используемых методик и методов	ПК-4.1 Знает численные порядки величин, характерных для соответствующей профессиональной области
	ПК-4.3 Способен обосновать причинно-следственные отношения используемых понятий и моделей

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Цифровые системы передачи информации на основе сигнала с одной несущей частотой» обучающийся должен:

знать:

- общую структуру цифровых систем передачи данных;
- область применения цифровой системы передачи данных с одной несущей частотой
- базовые алгоритмы, применяемые в построении модели и прототипов цифровой системы передачи данных с одной несущей частотой;
- особенности, аппаратные и принципиальные ограничения, влияющие на разработку цифровой системы передачи данных с одной несущей.

уметь:

- применять знания основных алгоритмов физического уровня при построении модели систем цифровой передачи данных с одной несущей.

владеть:

- Базовыми навыками проектирования цифровой системы связи;
- алгоритмами кодирования, модуляции, фильтрации, временной синхронизации и восстановления несущей в системе цифровой передачи данных с одной несущей.

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

В курсе имеется набор практических заданий, в результате выполнения которых обучающийся получает оценку.

Темы практических заданий:

1. Реализация алгоритма отображения информационного сигнала на созвездие.
2. Реализация наложения канальной характеристики на сигнал на примере аддитивного белого гауссовского шума. Алгоритма расчета BER и MER.
3. Реализация восстановления информационного сигнала используя сигнальное созвездие. Жесткое и мягкое решение демодулятора.
4. Реализация алгоритма канального кодирования.
5. Реализация алгоритма согласованной фильтрации.
6. Реализация алгоритма символьной синхронизации.
7. Реализация алгоритма кадровой синхронизации.
8. Реализация алгоритма восстановления несущей

За каждое задание студент получает оценку в соответствии с таблицей критерия оценивания.

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

Перечень типовых вопросов и тем для проведения дифференцированного зачёта:

1. Особенности цифрового и аналогового сигнала.
2. Амплитудная, частотная и фазовая модуляция.
3. Теорема Котельникова (Найквиста — Шеннона).
4. Схема и назначение ключевых блоков цифровой системы передачи данных.
5. Фазовая модуляция (Phase Shift Keying – PSK).
6. Амплитудно-фазовая модуляция (Amplitude Phase Shift Keying – APSK).
7. Квадратурно-амплитудная модуляция (Quadrature Amplitude Modulation – QAM).
8. Сигнальные созвездия их особенности и применения. Код Грея.
9. Расчет энергетики линии связи.
10. Аддитивный белый гауссовский шум.
11. Метрологическое исследование сигнала: битовая ошибка (Bit Error Ratio – BER), ошибка модуляции (Modulation Error Ratio – MER).
12. Восстановление информационного сигнала из сигнального созвездия.
13. Жесткое и мягкое решение при демодуляции сигнала.
14. Метод максимального правдоподобия (Maximum Likelihood Estimation – MLE).
15. Основные методы канального кодирования.
16. Расстояние Хэмминга.
17. Предел Шеннона
18. Применение мягких решений для декодирования.
19. Формирование полосы сигнала.
20. Межсимвольная интерференция (Intersymbol Interference – ISI).
21. Фильтрация. Согласованная фильтрация.
22. Символьная (временная) синхронизация.
23. Временной рассинхронизации. Детектор Гарднера.
24. Кадровая структура сигнала.
25. Алгоритмы кадровой синхронизации.
26. Частотная и фазовая рассинхронизации.
27. Алгоритмы восстановления несущей.
28. Связь структуры кадра со скоростью и точностью восстановления несущей.

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 20 минут на подготовку. Опрос обучающегося проводится в течение 30 минут.

Во время проведения дифференцированного зачета обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины.

В курсе имеется набор практических заданий, в результате выполнения которых обучающийся получает оценку.

При выставлении оценки за дифференцированный зачет учитываются оценки, выставленные за практические работы.