

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

УТВЕРЖДЕНО

**Директор физтех-школы
электроники, фотоники и
молекулярной физики**

В.В. Иванов

| | |
|----------------------------|---|
| | Рабочая программа дисциплины (модуля) |
| по дисциплине: | Волоконно-оптические усилители |
| по направлению: | Электроника и наноэлектроника |
| профиль подготовки: | Физика перспективных технологий: микро- и наноэлектроника Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики кафедра фотоники |
| курс: | 1 |
| квалификация: | магистр |

Семестры, формы промежуточной аттестации:

1 (осенний) - Экзамен

2 (весенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 15 час.

семинары: 45 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 60 час.

Подготовка к экзамену: 60 час.

Всего часов: 180, всего зач. ед.: 4

Программу составили:

Е.А. Вощинский

Ю.А. Вощинский

Программа обсуждена на заседании кафедры фотоники 29.05.2020

Аннотация

Курс "Волоконно-оптические усилители" предусматривает обучение студентов основам построения и принципам работы волоконно-оптических сетей связи. Знакомство с оборудованием для тестирования и построения линий связи. Изучение систем спектрального уплотнения каналов. Изучение современных оптических эрбиевых усилителей, используемых в магистральных линиях связи, а также системах кабельного телевидения.

Задачи курса:

- Освоение студентами технологий, используемых в современных волоконно-оптических сетях связи
- Развитие интереса к разработкам новых типов эрбиевых усилителей
- Обучение навыкам расчета оптических усилителей для современных магистральных ВОЛС.

По результатам освоения курса студент должен:

Знать:

- Назначение и область применения волоконно-оптических усилителей (ВОУ).
- Основные элементы конструкции ВОУ.
- Компоненты и принципы работы современных волоконно-оптических сетей связи.

Уметь:

- Рассчитывать проектные участки сети на основе данных об оптических потерях и величины хроматической дисперсии.

Владеть:

- Теоретическими основами построения и организации DWDM сетей.
- Знаниями в области современных сетей связи.

Основное содержание курса изложено в следующих разделах:

1. Волоконно-оптические усилители
2. Приемо-передающие устройства
3. Современные волоконно-оптические линии связи
4. Кабельное телевидение
5. Нелинейные эффекты в ВОЛС
6. Протоколы передачи информации
7. Рамановские усилители
8. Системы избыточного кодирования FEC

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

- обучение студентов основам построения и принципам работы волоконно-оптических сетей связи. Знакомство с оборудованием для тестирования и построения линий связи. Изучение систем спектрального уплотнения каналов. Изучение современных оптических эрбиевых усилителей, используемых в магистральных линиях связи, а также системах кабельного телевидения.

Задачи дисциплины

- освоение студентами технологий, используемых в современных волоконно-оптических сетях связи;
- развитие интереса к разработкам новых типов эрбиевых усилителей;
- обучение навыкам расчета оптических усилителей для современных магистральных ВОЛС.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

| Код и наименование компетенции | Индикаторы достижения компетенции |
|---|--|
| ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты | ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности |
| | ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценить качество разработанной модели |
| | ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты |

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- назначение и область применения волоконно-оптических усилителей (ВОУ);
- основные элементы конструкции ВОУ;
- компоненты и принципы работы современных волоконно-оптических сетей связи.

уметь:

- рассчитывать проектные участки сети на основе данных об оптических потерях и величины хроматической дисперсии.

владеть:

- теоретическими основами построения и организации DWDM сетей;
- знаниями в области современных сетей связи.

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 | Волоконно-оптические усилители | 8 | 8 | | 10 |
| 2 | Приемо-передающие устройства | 5 | 5 | | 10 |
| 3 | Современные волоконно-оптические линии связи | 2 | 2 | | 10 |
| 4 | Кабельное телевидение | | 4 | | 5 |
| 5 | Нелинейные эффекты в ВОЛС | | 10 | | 5 |
| 6 | Протоколы передачи информации | | 4 | | 5 |
| 7 | Рамановские усилители | | 8 | | 5 |
| 8 | Системы избыточного кодирования FEC | | 4 | | 10 |
| Итого часов | | 15 | 45 | | 60 |
| Подготовка к экзамену | | 60 час. | | | |
| Общая трудоёмкость | | 180 час., 4 зач.ед. | | | |

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

Семестр: 1 (Осенний)

1. Волоконно-оптические усилители

Роль усилителей в проектировании ВОЛС. Активное волокно. Редкоземельные ионы иттербий и эрбий, структура уровней, сечения поглощения и люминисценции. Волоконно-оптические усилители на основе активных волокон, легированных иттербием и эрбием. Основные параметры современных усилителей для DWDM сетей. Шум-фактор. GFF-фильтры.

2. Приемно-передающие устройства

Транспондеры для ВОЛС. Источники оптического излучения, используемые в телекоммуникациях. Лазерные диоды с распределенной обратной связью. Приемники оптического излучения. PIN и APD фотодиоды. Чувствительность приемника на разных скоростях работы. Модуляторы оптического сигнала. Модулятор на основе интерферометра Маха-Цандера. Скорость работы современных модуляторов.

3. Современные волоконно-оптические линии связи

Принципы построения и организации современных сетей оптической связи. Ключевые компоненты: транспондеры, усилители, мукспондеры, пассивные оптические элементы. Основы расчета и проектирования сетей.

Семестр: 2 (Весенний)

4. Кабельное телевидение

Аналоговые сигналы, принципы обработки. Ключевые элементы. Усилители для кабельного телевидения.

5. Нелинейные эффекты в ВОЛС

Основные нелинейные эффекты в ВОЛС: Рамановское рассеяние, рассеяние Манделштама-Бриллюэна, фазовая самомодуляция, фазовая кросс-модуляция, четырёхволновое смешение. Влияние нелинейных эффектов на передачу информации.

6. Протоколы передачи информации

Синхронная и асинхронная связь. Протоколы передачи информации SDH/SONET/10GE.

7. Рамановские усилители

Рамановские волоконно-оптические усилители. Рамановский конвертор. Методы включения рамановских усилителей в волоконно-оптические линии связи.

8. Системы избыточного кодирования FEC

Помехоустойчивое кодирование FEC. Стандарт OTN.

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

учебная аудитория, оснащенная компьютером и мультимедийным оборудованием (проектор, звуковая система).

6.Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Агравал Г. Нелинейная волоконная оптика. Мир, М., 1996
2. Иванов А.Б. Волоконная оптика: компоненты, системы передачи, измерения. М.: САЙРУС-СИСТЕМС, 1999.
3. Никоноров Н.В., Сидоров А.И. Материалы и технологии волоконной оптики: оптическое волокно для систем передачи информации.// ГУИТМО Спб. 2009.
4. P. Urquhart (ed.), Advances in Optical Amplifiers. InTech, Rijeka, Croatia 2011.

Дополнительная литература

1. Рекомендация МСЭ-Т G.652. Характеристики одномодового оптического волокна и кабеля., 06.2005
2. Глаголев С.В. Особенности проектирования современных высокоскоростных волоконно-оптических линий передачи// Спецвыпуск «Фотон-Экспресс» -Наука. -2006.-№6.-С.28-38.

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

1. <http://www.itu.int/>
2. <http://www.lightwaveonline.com/>
3. <http://www.intechopen.com/>

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

На лекционных и семинарских занятиях используются мультимедийные технологии, включая демонстрацию презентаций.

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

Студент, прослушавший курс лекций и семинаров должен овладеть общим понятийным аппаратом и научиться применять теоретические знания на практике.

Успешное освоение курса требует:

- 1) посещения всех лекций и семинаров, предусмотренных учебным планом; ведение конспектов занятий и журнала лабораторных работ; активное участие в обсуждении лекций и семинаров;
- 2) важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультацией к преподавателю на лекции или к докладчику на семинаре.

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

| | |
|----------------------------|---|
| по направлению: | Электроника и нанoeлектроника |
| профиль подготовки: | Физика перспективных технологий: микро- и нанoeлектроника Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики кафедра фотоники |
| курс: | <u>1</u> |
| квалификация: | магистр |

Семестры, формы промежуточной аттестации:

- 1 (осенний) - Экзамен
- 2 (весенний) - Экзамен

Разработчики:

Е.А. Вошинский
Ю.А. Вошинский

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

| Код и наименование компетенции | Индикаторы достижения компетенции |
|---|--|
| ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты | ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности |
| | ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценить качество разработанной модели |
| | ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты |

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Волоконно-оптические усилители» обучающийся должен:

знать:

- назначение и область применения волоконно-оптических усилителей (ВОУ);
- основные элементы конструкции ВОУ;
- компоненты и принципы работы современных волоконно-оптических сетей связи.

уметь:

- рассчитывать проектные участки сети на основе данных об оптических потерях и величины хроматической дисперсии.

владеть:

- теоретическими основами построения и организации DWDM сетей;
- знаниями в области современных сетей связи.

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

С целью контроля освоения обучающимися учебного материала проводится устный опрос в начале занятия по теме прошлой лекции или в конце занятия по пройденной теме.

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

Вопросы для подготовки к экзамену:

1. Волоконно-оптические усилители.
2. Приемо-передающие устройства.
3. Современные волоконно-оптические линии связи.
4. Кабельное телевидение.
5. Нелинейные эффекты в ВОЛС.
6. Протоколы передачи информации.
7. Рамановские усилители.
8. Системы избыточного кодирования FEC.

Примеры экзаменационных билетов.

Пример 1.

1. Кабельное телевидение.
2. Нелинейные эффекты в ВОЛС.

Пример 2.

1. Рамановские усилители.
2. Системы избыточного кодирования FEC.

Критерии оценивания

10 баллов — (ПРЕВОСХОДНО):

- систематизированные, глубокие и полные знания по всем разделам учебной программы, а также по основным вопросам, выходящим за ее пределы;
- точное использование научной терминологии (в том числе на иностранном языке), стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы;
- безупречное владение инструментарием учебной дисциплины, умение его эффективно использовать в постановке и решении научных и профессиональных задач;
- выраженная способность самостоятельно и творчески решать сложные проблемы в нестандартной ситуации;
- полное и глубокое усвоение основной и дополнительной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- умение ориентироваться в теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им критическую оценку, использовать научные достижения других дисциплин;
- творческая самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, активное участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

9 баллов — (ОТЛИЧНО):

- систематизированные, глубокие и полные знания по всем разделам учебной программы;
- точное использование научной терминологии (в том числе на иностранном языке), стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы;
- владение инструментарием учебной дисциплины, умение его эффективно использовать в постановке и решении научных и профессиональных задач;
- способность самостоятельно и творчески решать сложные проблемы в нестандартной ситуации в рамках учебной программы, полное усвоение основной и дополнительной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- умение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им критическую оценку;
- самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, творческое участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

8 баллов — (ПОЧТИ ОТЛИЧНО):

- систематизированные, глубокие и полные знания по всем поставленным вопросам в объеме учебной программы;
- использование научной терминологии, стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы, умение делать обоснованные выводы;
- владение инструментарием учебной дисциплины (методами комплексного анализа, техникой информационных технологий), умение его использовать в постановке и решении научных и профессиональных задач; способность самостоятельно решать сложные проблемы в рамках учебной программы;
- усвоение основной и дополнительной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- умение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им критическую оценку с позиций государственной идеологии (по дисциплинам социально-гуманитарного цикла);
- активная самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, систематическое участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

7 баллов — (ОЧЕНЬ ХОРОШО):

- систематизированные, глубокие и полные знания по всем разделам учебной программы;
- использование научной терминологии (в том числе на иностранном языке), лингвистически и логически правильное изложение ответа на вопросы, умение делать обоснованные выводы;
- владение инструментарием учебной дисциплины, умение его использовать в постановке и решении научных и профессиональных задач;
- усвоение основной и дополнительной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;

- умение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им критическую оценку;
- самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

6 баллов — (ХОРОШО):

- достаточно полные и систематизированные знания в объеме учебной программы;
- использование необходимой научной терминологии, стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы, умение делать обоснованные выводы;
- владение инструментарием учебной дисциплины, умение его использовать в решении учебных и профессиональных задач; способность самостоятельно применять типовые решения в рамках учебной программы;
- усвоение основной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- умение ориентироваться в базовых теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им сравнительную оценку; активная самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, периодическое участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

5 баллов — (ПОЧТИ ХОРОШО):

- достаточные знания в объеме учебной программы;
- использование научной терминологии, стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы, умение делать выводы;
- владение инструментарием учебной дисциплины, умение его использовать в решении учебных и профессиональных задач;
- способность самостоятельно применять типовые решения в рамках учебной программы;
- усвоение основной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- умение ориентироваться в базовых теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им сравнительную оценку;
- самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

4 балла — (УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО), ЗАЧТЕНО:

- достаточный объем знаний в рамках образовательного стандарта;
- усвоение основной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- использование научной терминологии, стилистическое и логическое изложение ответа на вопросы, умение делать выводы без существенных ошибок;
- владение инструментарием учебной дисциплины, умение его использовать в решении стандартных (типовых) задач;
- умение под руководством преподавателя решать стандартные (типовые) задачи;
- умение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им оценку;
- работа под руководством преподавателя на практических, лабораторных занятиях, допустимый уровень культуры исполнения заданий.

3 балла — (НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО), НЕЗАЧТЕНО:

- недостаточно полный объем знаний в рамках образовательного стандарта;
- знание части основной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- использование научной терминологии, изложение ответа на вопросы с существенными лингвистическими и логическими ошибками;
- слабое владение инструментарием учебной дисциплины, некомпетентность в решении стандартных (типовых) задач;
- неумение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях изучаемой дисциплины;
- пассивность на практических и лабораторных занятиях, низкий уровень культуры исполнения заданий.

2 балла — (НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО):

- фрагментарные знания в рамках образовательного стандарта;
- знания отдельных литературных источников, рекомендованных учебной программой дисциплины;
- неумение использовать научную терминологию дисциплины, наличие в ответе грубых стилистических и логических ошибок;

- пассивность на практических и лабораторных занятиях, низкий уровень культуры исполнения заданий.

1 балл — (НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО):

- отсутствие знаний и компетенций в рамках образовательного стандарта или отказ от ответа.

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

При проведении экзамена обучающемуся предоставляется до 60 минут на подготовку. Опрос обучающегося по билету не должен превышать двух астрономических часов в устной и (или) письменной форме.