

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Галунин Сергей Александрович
Должность: проректор по учебной работе
Дата подписания: 14.09.2023 10:47:23
Уникальный программный ключ:
08ef34338325bdb0ac5a47baa5472ce36cc3fc3b

Приложение к ОПОП
«Беспроводные инфокоммуника-
ционные сети»



СПбГЭТУ «ЛЭТИ»
ПЕРВЫЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
**«Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И.Ульянова (Ленина)»
(СПбГЭТУ «ЛЭТИ»)»**

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

ДИСЦИПЛИНЫ

«ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ»

для подготовки магистров

по направлению

11.04.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи»

по программе

«Беспроводные инфокоммуникационные сети»

Санкт-Петербург

2022

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Разработчики:

доцент, к.т.н. Бабушкина О.А.

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры РЭС
09.03.2022, протокол № 7

Рабочая программа рассмотрена и одобрена учебно-методической комиссией
ФРТ, 29.03.2022, протокол № 3

Согласовано в ИС ИОТ

Начальник ОМОЛА Загороднюк О.В.

1 СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Обеспечивающий факультет	ФРТ
Обеспечивающая кафедра	РЭС
Общая трудоемкость (ЗЕТ)	5
Курс	1
Семестр	2
Виды занятий	
Лекции (академ. часов)	34
Практические занятия (академ. часов)	34
Иная контактная работа (академ. часов)	1
Все контактные часы (академ. часов)	69
Самостоятельная работа, включая часы на контроль (академ. часов)	111
Всего (академ. часов)	180
Вид промежуточной аттестации	
Экзамен (курс)	1

2 АННОТАЦИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

«ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ»

Дисциплина предполагает изучение физических основ и принципов численного моделирования различных СВЧ-устройств и антенн с помощью конечно-разностных методов во временной и частотной областях, метода моментов для проволочных и плоско-слоистых конструкций, а также с помощью метода согласования мод применительно к волноводным конструкциям. Рассматриваются различные формы записи граничных условий краевых задач электродинамики, алгоритмы формирования значений векторных электрического и магнитного полей по полю потенциалов Лоренца.

Большое внимание уделено практическому применению пакетов программ AWR Design Environment и MicroWave Wizard для проектирования микроволновых устройств, таких как антенны, СВЧ-фильтры и волноводные устройства.

SUBJECT SUMMARY

«NUMERICAL METHODS OF ELECTRODYNAMICS NUMERICAL METHODS OF ELECTRODYNAMICS»

Discipline involves the study of physical bases and principles of numerical modeling of various microwave devices and antennas using finite-difference methods in the time and frequency domain, method of moments for wire and plane-layered structures, as well as using the mode-matching applied to the waveguide structures. Various forms of writing boundary conditions for boundary problems of electrodynamics, algorithms for generating vector electric and magnetic fields values by the Lorentz potentials are considered.

Much attention is paid to the practical application of the software package AWR Design Environment and MicroWave Wizard for designing microwave devices such as antennas, microwave filters and waveguide devices.

3 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

3.1 Цели и задачи дисциплины

1. Цель дисциплины -изучение основных численных методов электродинамики и основных характеристик действующих программ по численному моделированию микроволновых устройств, освоение существующих компьютерных программ по численному моделированию микроволновых устройств, получение навыков и умений по проектированию микроволновых устройств с использованием программ автоматизированного проектирования.
2. Задачи дисциплины -формирование практических навыков и умений по проектированию микроволновых устройств с использованием программ автоматизированного проектирования.
3. Знания основных численных методов электродинамики и основных характеристик действующих программ по численному моделированию микроволновых устройств.
4. Умения использовать существующие компьютерные программы по численному моделированию микроволновых устройств.
5. Формирование практических навыков и умений по проектированию микроволновых устройств с использованием программ автоматизированного проектирования.

3.2 Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина изучается на основе ранее освоенных дисциплин учебного плана:

1. «Имитационное моделирование телекоммуникационных систем»

и обеспечивает изучение последующих дисциплин:

1. «Моделирование микроволновых устройств»

3.3 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

В результате освоения образовательной программы обучающийся должен достичь следующие результаты обучения по дисциплине:

Код компетенции/ индикатора компетенции	Наименование компетенции/индикатора компетенции
ПК-1	Способен использовать современные достижения науки и передовые инфокоммуникационные технологии, методы проведения теоретических и экспериментальных исследований в научно-исследовательских работах в области ИКТиСС, ставить задачи исследования, выбирать методы экспериментальной работы с целью совершенствования и созданию новых перспективных инфокоммуникационных систем
<i>ПК-1.3</i>	<i>Владеет навыками разработки и анализа вариантов создания радиоэлектронного устройства или радиоэлектронной системы на основе синтеза накопленного опыта, изучения литературы и собственной интуиции; прогнозу последствий, поиск компромиссных решений в условиях многокритериальности</i>
ПК-5	Способен к разработке моделей различных технологических процессов и проверке их адекватности на практике, готовностью использовать пакеты прикладных программ анализа и синтеза инфокоммуникационных систем, сетей и устройств
<i>ПК-5.3</i>	<i>Умеет разрабатывать и оформлять конструкторскую и техническую документацию в соответствии с действующими нормативными документами с применением систем компьютерного проектирования</i>
<i>ПК-5.4</i>	<i>Владеет современными отечественными и зарубежными пакетами программ для решения схемотехнических, системных и сетевых задач</i>

4 СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

4.1 Содержание разделов дисциплины

4.1.1 Наименование тем и часы на все виды нагрузки

№ п/п	Наименование темы дисциплины	Лек, ач	Пр, ач	ИКР, ач	СР, ач
1	Введение	2			
2	Основные сведения из электродинамики	8			42
3	Метод моментов и его разновидности	7	18		25
4	Метод согласования мод	4	16		20
5	Метод конечных разностей для электродинамических потенциалов	6			9
6	Метод конечных разностей во временной области	4			11
7	Краткая характеристика современных пакетов, использующих изученные методы	2		1	4
8	Заключение	1			
	Итого, ач	34	34	1	111
	Из них ач на контроль	0	0	0	35
	Общая трудоемкость освоения, ач/зе	180/5			

4.1.2 Содержание

№ п/п	Наименование темы дисциплины	Содержание
1	Введение	Предмет и задачи дисциплины «Численные методы электродинамики». Структура, содержание дисциплины. Основные разделы дисциплины.
2	Основные сведения из электродинамики	Основы векторного анализа. Различные формы записи уравнений Максвелла и их физический смысл. Электрофизические характеристики сред. Граничные условия для нормальных и тангенциальных составляющих поля на границе двух сред. Излучение электромагнитных волн. Основные классы внутренних задач электродинамики и их единственность их решения. Дифференциальные уравнения. Их виды. Граничные задачи для дифференциальных уравнений в частных производных. Численные методы электродинамики. Их виды. Основные отличия.

№ п/п	Наименование темы дисциплины	Содержание
3	Метод моментов и его разновидности	Векторный потенциал и функции Грина. Операторные уравнения и системы линейных алгебраических уравнений. Базисные и тестовые функции. Метод Бубнова-Галеркина. Интегральные операторы для плоско-слоистых и проволочных структур. Источники в методе моментов. Граничные условия в методе моментов. Сходимость метода моментов. Использование метода моментов на примере среды автоматизированного проектирования AWR Design Environment.
4	Метод согласования мод	Ортогональные моды электрического и магнитного полей, распространяющихся в закрытой области. Согласование мод на поверхности стыковки областей. Формирование системы уравнений, связывающих ортогональные моды в соседних областях. Примеры использования метода согласования мод для моделирования волноводных устройств в среде автоматизированного проектирования MicroWave Wizard.
5	Метод конечных разностей для электродинамических потенциалов	Применение метода конечных разностей для решения потенциальных уравнений во временной области. Конечно-разностное представление частных производных скалярного и векторного потенциалов по координатам. Разбиение пространства сеткой. Учет и аппроксимация граничных условий, источники возбуждения. Метод конечных разностей в частотной области. Ошибки, устойчивость и сходимость конечно-разностных аппроксимаций. Расчет векторных полей по известному полю потенциалов. Примеры использования метода для решения практических задач.
6	Метод конечных разностей во временной области	Алгоритм метода конечных разностей во временной области (КРВО). Разбиение пространства сетками. Ячейки Йи. Численная дисперсия в методе КРВО. Источники возбуждения и граничные условия. Погрешности метода КРВО.
7	Краткая характеристика современных пакетов, использующих изученные методы	Системы автоматизированного проектирования AWR Design Environment, Advanced Design System, ANSYS HFSS, CST MICROWAVE STUDIO, Altair FEKO, μWave Wizard, openEMS, COMSOL Multiphysics® и др.
8	Заключение	Перспективы развития алгоритмов изученных методов.

4.2 Перечень лабораторных работ

Лабораторные работы не предусмотрены.

4.3 Перечень практических занятий

Наименование практических занятий	Количество ауд. часов
1. Интерфейс пакета AWR Design Environment. Открытие и создание проекта	2
2. Моделирование СВЧ микрополосковых фильтров в пакете AWR Design Environment.	4
3. Моделирование СВЧ делителей мощности в пакете AWR Design Environment.	2
4. Моделирование печатных антенн с линейной поляризацией в пакете AWR Design Environment	4
5. Моделирование печатных антенн с круговой поляризацией в пакете AWR Design Environment	2
6. Моделирование антенных решёток в пакете AWR Design Environment	4
7. Интерфейс пакета Microwave Wizard. Открытие и создание проекта	2
8. Моделирование волноводных элементов в пакете Microwave Wizard	4
9. Моделирование волноводных фильтров в пакете Microwave Wizard	4
10. Моделирование антенны с коническим рупором в пакете Microwave Wizard	4
11. Моделирование антенны с прямоугольным рупором в пакете Microwave Wizard	2
Итого	34

4.4 Курсовое проектирование

Курсовая работа (проект) не предусмотрены.

4.5 Реферат

Реферат не предусмотрен.

4.6 Индивидуальное домашнее задание

Индивидуальное домашнее задание не предусмотрено.

4.7 Доклад

Доклад не предусмотрен.

4.8 Кейс

Кейс не предусмотрен.

4.9 Организация и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы

Информационные технологии (операционные системы, программное обеспечение общего и специализированного назначения, а также информационные справочные системы) и материально-техническая база, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, соответствуют требованиям федерального государственного образовательного стандарта высшего образования.

Описание информационных технологий и материально-технической базы приведено в УМКД дисциплины в учебных пособиях к практическим занятиям.

Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине и методика текущего контроля содержатся в учебно-методическом комплексе дисциплины.

Конкретные формы и процедуры текущего контроля знаний и промежуточной аттестации, а также методические указания для обучающихся по самостоятельной работе при освоении дисциплин (содержащиеся в ООП) доводятся до сведения обучающихся в течение первых недель обучения

Текущая СРС	Примерная трудоемкость, ач
Работа с лекционным материалом, с учебной литературой	20
Опережающая самостоятельная работа (изучение нового материала до его изложения на занятиях)	0
Самостоятельное изучение разделов дисциплины	20
Выполнение домашних заданий, домашних контрольных работ	0
Подготовка к лабораторным работам, к практическим и семинарским занятиям	36
Подготовка к контрольным работам, коллоквиумам	0
Выполнение расчетно-графических работ	0

Текущая СРС	Примерная трудоемкость, ач
Выполнение курсового проекта или курсовой работы	0
Поиск, изучение и презентация информации по заданной проблеме, анализ научных публикаций по заданной теме	0
Работа над междисциплинарным проектом	0
Анализ данных по заданной теме, выполнение расчетов, составление схем и моделей, на основе собранных данных	0
Подготовка к зачету, дифференцированному зачету, экзамену	35
ИТОГО СРС	111

5 Учебно-методическое обеспечение дисциплины

5.1 Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины

№ п/п	Название, библиографическое описание	К-во экз. в библ.
Основная литература		
1	Григорьев, Андрей Дмитриевич. Электродинамика и микроволновая техника [Текст] : учеб. для вузов по специальности "Электронные приборы и устройства" направления подгот. "Электроника и микроэлектроника" / А.Д. Григорьев, 2007. -703, [4] с.	110
2	Бабушкина, Ольга Александровна. Основы моделирования микроволновых устройств [Текст] : учеб. пособие. Ч. 1, 2016. -56, [1] с.	25
3	Бабушкина, Ольга Александровна. Основы моделирования микроволновых устройств [Текст] : учеб. пособие : [в 2 ч.]. Ч. 2, 2017. -80 с.	25
Дополнительная литература		
1	Григорьев, Андрей Дмитриевич. Электродинамика и техника СВЧ [Текст] : [Учеб. для вузов по специальности "Электрон. приборы и устройства"] / А.Д.Григорьев, 1990. -334, [1] с.	47
2	Пименов, Юрий Вадимович. Техническая электродинамика [Текст] : Учеб. пособие для вузов по специальностям "Сети связи и системы коммутации", "Многоканал. телекоммуникац. системы", "Радиосвязь, радиовещание и телевидение", "Средства связи с подвижными объектами", "Аудиовизуал. техника", "Физика и техника оптич. связи и направлению", "Телекоммуникации" / Ю.В.Пименов, В.И.Вольман, А.Д.Муравцов, 2000. -536 с.	152
3	Гринев, Александр Юрьевич. Численные методы решения прикладных задач электродинамики [Текст] : учеб. пособие для вузов по направлению 210300 "Радиотехника" / А. Ю. Гринев, 2012. -336 с.	14

5.2 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», используемых при освоении дисциплины

№ п/п	Электронный адрес
1	Основы моделирования в Microwave Office 2009 http://www.eurointech.ru/products/AWR/Dmitriev_mwo_2009_1.pdf
2	μ Wave Wizard -синтез и моделирование волноводных СВЧ https://eurointech.ru/eda/microwave_design/mician/Wave-Wizard.phtml

5.3 Адрес сайта курса

Адрес сайта курса: <https://vec.etu.ru/moodle/course/view.php?id=11780>

6 Критерии оценивания и оценочные материалы

6.1 Критерии оценивания

Для дисциплины «Численные методы электродинамики» предусмотрены следующие формы промежуточной аттестации: экзамен.

Экзамен

Оценка	Описание
Неудовлетворительно	Курс не освоен. Студент испытывает серьезные трудности при ответе на ключевые вопросы дисциплины
Удовлетворительно	Студент в целом овладел курсом, но некоторые разделы освоены на уровне определений и формулировок теорем
Хорошо	Студент овладел курсом, но в отдельных вопросах испытывает затруднения. Умеет решать задачи
Отлично	Студент демонстрирует полное овладение курсом, способен применять полученные знания при решении конкретных задач.

Особенности допуска

Для допуска на экзамен требуется посещаемость как лекционных так и практических занятий не менее 70% занятий с выполнением заданий на них. Экзамен проводится по билетам. Экзаменационный билет включает в себя 2 вопроса согласно списку экзаменационных вопросов и задачу, которую необходимо выполнить в программе AWR Design Environment либо MicroWave Wizard.

6.2 Оценочные материалы для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

Вопросы к экзамену

№ п/п	Описание
1	Численные методы электродинамики. Их виды. Основные отличия.
2	Основы векторного анализа.
3	Первое уравнение Максвелла в интегральной и дифференциальной формах. Его физический смысл.
4	Второе уравнение Максвелла в интегральной и дифференциальной формах. Его физический смысл.
5	Третье уравнение Максвелла в интегральной и дифференциальной формах. Его физический смысл.
6	Четвёртое уравнение Максвелла в интегральной и дифференциальной формах. Его физический смысл.
7	Скалярный и векторный электродинамические потенциалы Лоренца.
8	Дифференциальные уравнения. Их виды. Граничные задачи для дифференциальных уравнений в частных производных.
9	Теорема единственности решения граничных задач электродинамики.
10	Граничные условия для нормальных составляющих электромагнитного поля.
11	Граничные условия для тангенциальных составляющих электромагнитного поля.
12	Граничные условия на поверхности идеального проводника.
13	Общая формулировка методов интегральных уравнений и моментов. Потенциалы Лоренца, функция Грина.
14	Основы метода моментов. Базисные и тестовые функции.
15	Особенности алгоритмической реализации метода моментов для проволочных конструкций.
16	Особенности алгоритмической реализации метода моментов для плоскостойких конструкций.
17	Модель порта в методе моментов.
18	Моды прямоугольного волновода.
19	Основы метода согласования мод. Решение закрытых и открытых задач.
20	Метод конечно-разностной аппроксимации потенциальных уравнений.

21	Схема явного метода конечно-разностной аппроксимации для потенциальных уравнений.
22	Схема неявного метода конечно-разностной аппроксимации для потенциальных уравнений.
23	Учет и аппроксимация граничных условий для потенциальных уравнений при конечно-разностной аппроксимации.
24	Метод конечных разностей в частотной области.
25	Вычисление векторных полей по известному полю потенциалов при конечно-разностной аппроксимации.
26	Сходимость и устойчивость конечно-разностных аппроксимаций.
27	Ошибки и алгоритмическая реализация конечно-разностных аппроксимаций.
28	Метод конечных разностей во временной области. Алгоритм метода. Ячейка Ий.
29	Метод конечных разностей во временной области. Численная дисперсия.
30	Метод конечных разностей во временной области. Задание источников возбуждения и граничных условий.

Форма билета

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический
 университет «ЛЭТИ» имени В.И. Ульянова (Ленина)»

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 1

Дисциплина **Численные методы электродинамики ФРТ**

1. Основы векторного анализа.
2. Модель порта в методе моментов.
3. Задача.

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

В.Н. Малышев

Образцы задач (заданий) для контрольных (проверочных) работ

Примерные задачи для допуска на экзамен:

1. Промоделировать в AWR Design Environment patch антенну с централь-

ной рабочей частотой и параметрами диэлектрика, на котором она выполнена, согласно варианту. На центральной частоте антенны должна быть согласована не хуже -15дБ. Построить графики модуля коэффициента отражения, 2D и 3D диаграммы направленности на центральной частоте.

Варианты:

1. $f=1$ ГГц, $\epsilon=6$, $\text{tg}\delta=0,003$, $h=2$ мм
2. $f=0,5$ ГГц, $\epsilon=9,8$, $\text{tg}\delta=0,004$, $h=4$ мм
3. $f=2$ ГГц, $\epsilon=2,1$, $\text{tg}\delta=0,001$, $h=1,5$ мм
4. $f=4$ ГГц, $\epsilon=3$, $\text{tg}\delta=0,005$, $h=0,5$ мм
5. $f=1,3$ ГГц, $\epsilon=2,5$, $\text{tg}\delta=0,003$, $h=2$ мм
6. $f=3$ ГГц, $\epsilon=3,8$, $\text{tg}\delta=0,01$, $h=1$ мм
7. $f=1,8$ ГГц, $\epsilon=4,4$, $\text{tg}\delta=0,02$, $h=2$ мм
8. $f=3,5$ ГГц, $\epsilon=2,2$, $\text{tg}\delta=0,008$, $h=1$ мм
9. $f=2,2$ ГГц, $\epsilon=4$, $\text{tg}\delta=0,001$, $h=1,5$ мм
10. $f=0,8$ ГГц, $\epsilon=7$, $\text{tg}\delta=0,003$, $h=3$ мм
11. $f=1,5$ ГГц, $\epsilon=5,8$, $\text{tg}\delta=0,002$, $h=2,5$ мм

2. Промоделировать в MicroWave Wizard волноводный изгиб прямоугольного волновода в Е-плоскости под 90 градусов для типоразмера согласно варианту. Построить графики модулей коэффициентов передачи и отражения. Построить электрическое и магнитное поля на центральной частоте рабочего диапазона для основной моды.

Варианты:

Типоразмер волновода, мм²

1. 90 x 45
2. 7,20 x 3,40

3. 110,00 x 55,00

4. 72,00 x 34,00

5. 58,00 x 25,00

6. 13,00 x 6,50

7. 19,00 x 9,50

8. 35,00 x 15,00

9. 3,60 x 1,80

10. 17,00 x 8,00

3. Про моделировать в MicroWave Wizard волноводный фильтр 3го порядка на основе металлических стержней (элемент ir_p3), ориентированных в Н-плоскости, *путем оптимизации*. Центральный стержень необходимо расположить в центре волновода. Структура фильтра симметричная. Типоразмер волновода взять согласно варианту. Полосу пропускания фильтра (по критерию -15дБ) взять равную 20% от ширины рабочего диапазона волновода относительно центральной частоты ($f_0 \pm 10\% \cdot \Delta f$). Построить электрическое и магнитное поля для моды h10 и h20 для второго элемента ir_p3.

Варианты:

Типоразмер волновода, мм²

1. 90 x 45

2. 7,20 x 3,40

3. 110,00 x 55,00

4. 72,00 x 34,00

5. 58,00 x 25,00

6. 13,00 x 6,50

7. 19,00 x 9,50

8. 35,00 x 15,00

9. 3,60 x 1,80

10. 17,00 x 8,00

4. Промоделировать в MicroWave Wizard рупорную антенну, входной типоразмер которой соответствует варианту. Размер апертуры и длину антенны выбрать такими, чтобы антенна было согласована в диапазоне работы волновода не хуже, чем -15дБ, а усиление антенны было не меньше 12дБ на центральной частоте. Для полученной модели антенны необходимо построить:

– 3D-модель полученной структуры;

– S-параметры для основной моды;

– 3D и 2D ДН (Gain) по вертикальной поляризации на центральной частоте для основной моды прямоугольного волновода. Для построения 2D ДН выбрать углы $\varphi=0^\circ$ и 90° ;

– электрическое и магнитное поле на центральной частоте в плоскости апертуры антенны.

Варианты:

Типоразмер волновода, мм²

1. 90 x 45

2. 7,20 x 3,40

3. 110,00 x 55,00

4. 72,00 x 34,00

5. 58,00 x 25,00

6. 13,00 x 6,50

7. 19,00 x 9,50

8. 35,00 x 15,00

9. 3,60 x 1,80

10. 17,00 x 8,00

Примерные задачи в экзаменационном билете:

1. Рассчитать переход прямоугольного волновода с сечения $35 \times 15 \text{ мм}^2$ на $35 \times 5 \text{ мм}^2$ с уровнем согласования не хуже -25 дБ во всем рабочем диапазоне. Построить электрическое и магнитное поля для моды h_{20} на центральной частоте.

2. Рассчитать волноводный изгиб со скосом на основе прямоугольного волновода с сечением $110 \times 55 \text{ мм}^2$ в Н-плоскости. Найти оптимальный размер скоса так, чтобы уровень согласования в рабочей полосе был не хуже -15 дБ . Построить электрическое и магнитное поля для основной моды прямоугольного волновода на центральной частоте.

3. Построить ДН в азимутальной и угломестной плоскостях пирамидальной рупорной антенны с апертурой $250 \times 78 \text{ мм}^2$, длиной 105 мм , основанием $23 \times 10 \text{ мм}^2$ на центральной частоте рабочего диапазона.

4. Построить частотную зависимость модулей коэффициентов отражения и передачи для 50-омной микрополосковой линии в диапазоне частот $2-3 \text{ ГГц}$, выполненной на диэлектрике с $\epsilon=3$, $\text{tg}\delta=0,001$ и высотой 1 мм .

5. Построить 3D ДН для patch-антенны, выполненной на диэлектрике с $\epsilon=3$, $\text{tg}\delta=0,001$ и высотой 3 мм , на частоте 3 ГГц . Уровень согласования на указанной частоте не хуже -10 дБ .

6. Построить 3D ДН для антенны типа PIFA, выполненной на диэлектрике с $\epsilon=4,4$, $\text{tg}\delta=0,02$ и высотой 1 мм , на частоте 3 ГГц . Уровень согласования на указанной частоте не хуже -10 дБ .

Весь комплект контрольно-измерительных материалов для проверки сфор-

мированности компетенции (индикатора компетенции) размещен в закрытой части по адресу, указанному в п. 5.3

6.3 График текущего контроля успеваемости

Неделя	Темы занятий	Вид контроля
7	Метод моментов и его разновидности	
8		Практическая работа
15	Метод согласования мод	
16		Практическая работа

6.4 Методика текущего контроля

на лекционных занятиях

Текущий контроль включает в себя контроль посещаемости (не менее 70% занятий), по результатам которого студент получает допуск на экзамен.

Если студент посетил менее 70% занятий, то для допуска на экзамен на зачётной неделе проводится собеседование, по результату которого принимается решение о допуске студента на экзамена.

на практических занятиях

Текущий контроль включает в себя контроль посещаемости (не менее 70% занятий), выполнение и защиту практических работ, по результатам которых студент получает допуск на экзамен.

Если студент посетил менее 75% занятий, то для допуска на экзамен на зачётной неделе студент должен выполнить и защитить две задачи, по результатам защиты принимается решение о допуске на экзамен.

В ходе проведения практических занятий целесообразно привлечение студентов к как можно более активному участию в дискуссиях, решении задач, обсуждениях и т. д. При этом активность студентов также может учитываться преподавателем, как один из способов текущего контроля на практических занятиях.

самостоятельной работы студентов

Контроль самостоятельной работы студентов осуществляется на лекци-

онных и практических занятиях студентов по методикам, описанным выше.

7 Описание информационных технологий и материально-технической базы

Тип занятий	Тип помещения	Требования к помещению	Требования к программному обеспечению
Лекция	Лекционная аудитория	Количество посадочных мест – в соответствии с контингентом, рабочее место преподавателя, проектор, компьютер, экран, меловая или маркерная доска	1) Windows 7 и выше; 2) Microsoft Office 2007 и выше; 3) Microsoft Office PowerPoint 2007 и выше
Практические занятия	Компьютерный класс	Количество посадочных мест – в соответствии с контингентом, рабочее место преподавателя, компьютеры, проектор, экран, меловая или маркерная доска	1) Windows 7 и выше; 2) Microsoft Office 2007 и выше; 3) AWR Design Environment 12; 4) MicroWave Wizard 8.0
Самостоятельная работа	Помещение для самостоятельной работы	Оснащено компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду университета.	1) Windows XP и выше; 2) Microsoft Office 2007 и выше

8 Адаптация рабочей программы для лиц с ОВЗ

Адаптированная программа разрабатывается при наличии заявления со стороны обучающегося (родителей, законных представителей) и медицинских показаний (рекомендациями психолого-медико-педагогической комиссии). Для инвалидов адаптированная образовательная программа разрабатывается в соответствии с индивидуальной программой реабилитации.

ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

№ п/п	Дата	Изменение	Дата и номер протокола заседания УМК	Автор	Начальник ОМОЛА