

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

«МОДЕЛИРОВАНИЕ МИКРОВОЛНОВЫХ УСТРОЙСТВ»

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)	6
Курс	2
Семестр	3
Виды занятий	
Лекции (академ. часов)	68
Иная контактная работа (академ. часов)	1
Все контактные часы (академ. часов)	69
Самостоятельная работа, включая часы на контроль (академ. часов)	147
Всего (академ. часов)	216
Вид промежуточной аттестации	
Экзамен (курс)	2

2 АННОТАЦИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

«МОДЕЛИРОВАНИЕ МИКРОВОЛНОВЫХ УСТРОЙСТВ»

Дисциплина предполагает изучение принципов численного электродинамического моделирования различных СВЧ-устройств и антенн с помощью метода конечных элементов применительно к пакету ANSYS HFSS. Также рассматриваются метод матрицы линий передач, асимптотические методы: метод физической оптики, метод геометрической дифракции и метод краевых волн. Большое внимание уделено практическому применению программы ANSYS HFSS для проектирования микроволновых устройств, таких как антенны, волноводные устройства, СВЧ фильтры, и задач облучения и рассеяния, рассматриваются основные этапы создания проекта в изучаемой программе.

SUBJECT SUMMARY

«MICROWAVE DEVICES SIMULATION»

Discipline involves the study of the main numerical simulation principles of various microwave devices and antennas using the finite element method which is applied to ANSYS HFSS. The transmission line matrix method, asymptotic methods (physical optics, geometric diffraction method and the method of edge waves) are considered.

Much attention is paid to the practical application of ANSYS HFSS software for the design of microwave devices such as antennas, waveguide devices, microwave filters and tasks of radiation and scattering, the basic steps for creating a project in the study program.

3 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

3.1 Цели и задачи дисциплины

1. Цели дисциплины:

- изучение принципов численного электродинамического моделирования СВЧ-устройств и антенн на примере работы в программе ANSYS HFSS, методов и алгоритмов решения основных проектных задач с использованием САПР;
- получение знаний о методах планирования машинных экспериментов;
- формирование умений и практических навыков работы в программе ANSYS HFSS.

2. Задачи дисциплины:

- освоение основных характеристик действующих программ по численному моделированию микроволновых устройств;
- приобретение знаний о проблемах и путях их развития;
- формирование умений и практических навыков работы в программе ANSYS HFSS.

3. Знания основных численных методов электродинамики и основных характеристик действующих программ по численному моделированию микроволновых устройств.

4. Умения использовать существующие программы по численному моделированию микроволновых устройств.

5. Формирование практических навыков по проектированию микроволновых устройств с использованием программы автоматизированного проектирования.

3.2 Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина изучается на основе ранее освоенных дисциплин учебного плана:

1. «Актуальные проблемы радиоэлектроники»
 2. «Имитационное моделирование телекоммуникационных систем»
 3. «СВЧ устройства телекоммуникационных систем»
 4. «Численные методы электродинамики»
- и обеспечивает подготовку выпускной квалификационной работы.

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-3	Способен самостоятельно собирать и анализировать исходные данные с целью формированию плана развития, выработке и внедрению научно обоснованных решений по оптимизации сети связи
<i>ПК-3.3</i>	<i>Владеет навыками анализ качества работы каналов и технических средств связи</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-5.4</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	ИКР, ач	СР, ач
1	Введение	2		
2	Численные методы электродинамики	1		20
3	Метод конечных элементов	10		26
4	Моделирование СВЧ устройств в ANSYS HFSS. Граничные условия и порты в ANSYS HFSS	44	1	62
5	Метод матриц линий передач	6		20
6	Асимптотические методы расчёта	4		18
7	Заключение	1		1
	Итого, ач	68	1	147
	Из них ач на контроль	0	0	35
	Общая трудоемкость освоения, ач/зе		216/6	

4.1.2 Содержание

№ п/п	Наименование темы дисциплины	Содержание
1	Введение	Предмет дисциплины и ее задачи. Структура и содержание дисциплины, её связь с другими дисциплинами учебного плана.
2	Численные методы электродинамики	Уравнения электродинамики и граничные условия. Основные численные методы, особенности, отличия. Особенности применения.
3	Метод конечных элементов	Дискретизация области решения. Вариационная постановка задачи. Базисные функции. Интерполяционные функции. Генерация СЛАУ и её решение. Погрешности метода конечных элементов.

№ п/п	Наименование темы дисциплины	Содержание
4	Моделирование СВЧ устройств в ANSYS HFSS. Граничные условия и порты в ANSYS HFSS	Использования метода конечных элементов на примере среды автоматизированного проектирования ANSYS HFSS. Численная реализация граничных условий в методе конечных элементов. Виды граничных условий в ANSYS HFSS: Perfect E, Perfect H, Finite Conductivity, Impedance, Layered Impedance, Summetry, Lumped RLC boundary, Screening Impedance Boundaries. Radiation, Perfectly matched layers (PML). Порты в ANSYS HFSS: Lumped Port, Wave Port, порт Floquet. Задание падающей волны (Incident Wave) в пакете ANSYS HFSS. Задание источника напряжения, тока, задание источника магнитного смещения.
5	Метод матриц линий передач	Дискретный принцип Гюйгенса. Метод МЛП для двумерных задач. Аппроксимация граничных условий. Учёт неоднородности среды. Трёхмерный метод МЛП. Погрешности метода МЛП.
6	Асимптотические методы расчёта	Метод геометрической оптики, метод геометрической теории дифракции, метод физической оптики, метод краевых волн.
7	Заключение	Новые возможности программ моделирования микроволновых устройств.

4.2 Перечень лабораторных работ

Лабораторные работы не предусмотрены.

4.3 Перечень практических занятий

Практические занятия не предусмотрены.

4.4 Курсовое проектирование

Курсовая работа (проект) не предусмотрены.

4.5 Реферат

Реферат не предусмотрен.

4.6 Индивидуальное домашнее задание

Индивидуальное домашнее задание заключается в моделировании и поиске оптимальных параметров для микроволновых устройств с использованием САПР ANSYS HFSS. В процессе индивидуального домашнего задания предполагается привитие навыков разработки и оптимизации микроволновых устройств при помощи современных пакетов электродинамического моделирования. Результатом проектирования являются характеристики устройства и его 3D модель, построенная с помощью программных средств.

Индивидуальное домашнее задание состоит из следующих разделов: введение, создание модели исследуемого устройства в ANSYS HFSS, анализ модели исследуемого устройства в ANSYS HFSS, заключение, список литературы.

Требованиями по оформлению ИДЗ: количество источников от 3 до 8, объем: минимальное количество стр. 12 и максимальное количество стр. 20, формат оформления - Word, шрифт Times New Roman, размер шрифта 14, таблицы и диаграммы оформляются средствами Word, формат сдачи работы - печатный.

Темы индивидуального домашнего задания:

1. Волноводный изгиб в E–плоскости
2. Волноводный изгиб в H–плоскости
3. Волноводный изгиб под 135° в E– и H–плоскостях
4. Рупорная антенна
5. Четырёхэлементная директорная антенна
6. Планарная перевернутая F-антенна (PIFA)
7. Антенна на основе резонатора бегущей волны
8. Двухмодовый резонатор
9. Рамочная антенна на основе фрактала Минковского второго порядка

10. Антенна на основе фрактального дерева для TDMB диапазона
11. Микрополосковый фильтр третьего порядка
12. Патч-антенна для приема круговой поляризации
13. Полосно-пропускающий фильтр с диафрагмами в Е-плоскости
14. Полосно-пропускающий фильтр с перегородками в Н-плоскости
15. Встречно-штыревой фильтр
16. Волноводно-щелевая антенна
17. Логопериодическая антенна
18. Плоский вибратор

4.7 Доклад

Доклад не предусмотрен.

4.8 Кейс

Кейс не предусмотрен.

4.9 Организация и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы

Изучение дисциплины сопровождается самостоятельной работой студентов с рекомендованными преподавателем литературными источниками и информационными ресурсами сети Интернет.

Планирование времени для изучения дисциплины осуществляется на весь период обучения, предусматривая при этом регулярное повторение пройденного материала. Обучающимся, в рамках внеаудиторной самостоятельной работы, необходимо регулярно дополнять сведениями из литературных источников материал, законспектированный на лекциях. При этом на основе изучения ре-

комендованной литературы целесообразно составить конспект основных положений, терминов и определений, необходимых для освоения разделов учебной дисциплины.

Особое место уделяется консультированию, как одной из форм обучения и контроля самостоятельной работы. Консультирование предполагает особым образом организованное взаимодействие между преподавателем и студентами, при этом предполагается, что консультант либо знает готовое решение, которое он может предписать консультируемому, либо он владеет способами деятельности, которые указывают путь решения проблемы.

Самостоятельное изучение студентами теоретических основ дисциплины обеспечено необходимыми учебно-методическими материалами (учебники, учебные пособия, конспект лекций и т.п.), выполненными в печатном или электронном виде.

По каждой теме содержания рабочей программы могут быть предусмотрены индивидуальные домашние задания (расчетно-графические работы, рефераты, конспекты изученного материала, доклады и т.п.).

Изучение студентами дисциплины сопровождается проведением регулярных консультаций преподавателей, обеспечивающих практические занятия по дисциплине, за счет бюджета времени, отводимого на консультации (внеаудиторные занятия, относящиеся к разделу «Самостоятельные часы для изучения дисциплины»).

Текущая СРС	Примерная трудоемкость, ач
Работа с лекционным материалом, с учебной литературой	10
Опережающая самостоятельная работа (изучение нового материала до его изложения на занятиях)	0
Самостоятельное изучение разделов дисциплины	42
Выполнение домашних заданий, домашних контрольных работ	60
Подготовка к лабораторным работам, к практическим и семинарским занятиям	0
Подготовка к контрольным работам, коллоквиумам	0

Текущая СРС	Примерная трудоемкость, ач
Выполнение расчетно-графических работ	0
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	147

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 библи.
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
4	Бабушкина, Ольга Александровна. Практикум по моделированию микроволновых устройств [Электронный ресурс] : учеб. пособие / О. А. Бабушкина, 2014. -1 эл. опт. диск (CD-ROM)	неогр.
Дополнительная литература		
1	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 оптической связи и направлению", "Телекоммуникации" / Ю.В.Пименов, В.И.Вольман, А.Д.Муравцов, 2000. -536 с.	152
2	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	Банков С.Е., Курушин А.А. Проектирование СВЧ устройств и антенн с Ansoft HFSS, Москва, 2009 http://jre.cplire.ru/win/library/4/text.pdf
2	Банков С.Е., Курушин А.А., Разевиг В.Д. Анализ и оптимизация СВЧ структур с помощью HFSS, Москва, 2004 http://jre.cplire.ru/win/library/2/text.pdf
3	Банков С.Е., Курушин А.А. Электродинамика и техника СВЧ для пользователей САПР, Москва, 2008 http://jre.cplire.ru/win/library/3/text.pdf

№ п/п	Электронный адрес
4	Банков С.Е., Гутцайт Э.М., Курушин А.А. Решение оптических и СВЧ задач с помощью HFSS, Москва, 2012 http://jre.cplire.ru/win/library/7/text.pdf

5.3 Адрес сайта курса

Адрес сайта курса: <https://vec.etu.ru/moodle/course/view.php?id=11779>

6 Критерии оценивания и оценочные материалы

6.1 Критерии оценивания

Для дисциплины «Моделирование микроволновых устройств» предусмотрены следующие формы промежуточной аттестации: экзамен.

Экзамен

Оценка	Описание
Неудовлетворительно	Курс не освоен. Отсутствует ответ на вопросы билета или содержание ответа не совпадает с поставленным вопросом, задача не решена, ход решения неправильный.
Удовлетворительно	Студент в целом овладел курсом, но некоторые разделы освоены на уровне определений и формулировок теорем. В ответе на вопросы билета имеются существенные ошибки; задача не решена или решена неправильно, ход решения правильный.
Хорошо	Студент овладел курсом, но в отдельных вопросах испытывает затруднения. Вопросы на билет раскрыты не полностью, задача решена правильно или с небольшими недочётами.
Отлично	Студент демонстрирует полное овладение курсом, способен применять полученные знания при решении конкретных задач. Вопросы на билет раскрыты полностью, задача решена правильно.

Особенности допуска

Для допуска на экзамен требуется посещаемость лекционных занятий не менее 75% занятий. Также необходимо выполнение контрольной работы, выполнение и защита индивидуального домашнего задания. Экзамен проводится по билетам. Экзаменационный билет включает в себя 2 вопроса согласно списку экзаменационных вопросов и задачу, которую необходимо выполнить в программе ANSYS HFSS.

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

Вопросы к экзамену

№ п/п	Описание
1	Метод конечных элементов. Дискретизация пространства. Ошибки вычисления, связанные с дискретизацией.
2	Метод конечных элементов. Функционалы для электростатического и электромагнитного полей.
3	Метод конечных элементов. Базисные функции, интерполяционные формулы.
4	Метод конечных элементов. Вывод и решение СЛАУ. Учёт граничных условий.
5	Асимптотические методы электродинамики. Метод геометрической оптики.
6	Асимптотические методы электродинамики. Метод физической оптики.
7	Асимптотические методы электродинамики. Геометрическая теория дифракции.
8	Асимптотические методы электродинамики. Метод краевых волн.
9	Численные методы расчета пассивных структур СВЧ. Их виды. Сравнение.
10	Метод матриц линий передач. Дискретизация модели Гюйгенса. 2D метод матриц линий передач.
11	Метод матриц линий передач. Влияние разбиения на результат расчёта.
12	Метод матриц линий передач. Распространение волны в последовательно соединенных TLM ячейках.
13	Метод матриц линий передач. Моделирование граничных условий с потерями и без потерь.
14	Метод матриц линий передач. Моделирования материалов с потерями и без потерь.
15	Трёхмерный метод матриц линий передач.
16	Интерфейс пакета ANSYS HFSS. Последовательность действий в ANSYS HFSS для расчета моделируемого устройства. Задание новой сетки разбиения (mesh).
17	Виды граничных условий в ANSYS HFSS: Perfect E, Perfect H, Finite Conductivity, Impedance, Layered Impedance, Lumped RLC boundary, Screening Impedance Boundaries.
18	Виды граничных условий в ANSYS HFSS: Radiation, Perfectly matched layers (PML).

19	Задание границ симметрии и периодических граничных условий.
20	Порты в ANSYS HFSS: Lumped Port, Wave Port. Задание, особенности применения.
21	Порты в ANSYS HFSS: порт Floquet. Описание, особенности применения.
22	Задание падающей волны (Incident Wave) в пакете ANSYS HFSS. Использование полей дальней или ближней зон одного проекта в другом (Far Field Wave, Near Field Wave).
23	Порты в ANSYS HFSS: источник напряжения, тока, задание источника магнитного смещения.
24	Задание материала с произвольными характеристиками в ANSYS HFSS. Изотропные, анизотропные, частотно-зависимые и т.д.
25	Расчёт антенных решёток в пакете ANSYS HFSS.
26	Проверка сходимости решения в пакете ANSYS HFSS. Импорт и экспорт данных.
27	Пост-процессорная обработка и создание графиков в пакете ANSYS HFSS.
28	Процессы параметризации, многопараметрической оптимизации, анализа разбросов параметров и статистической обработки результатов в ANSYS HFSS.
29	Расчёт собственных частот колебаний резонансных структур в ANSYS HFSS.
30	Расчет электрически больших объектов с помощью ANSYS HFSS-IE. Задание падающей волны. Расчёт ЭПР.

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 **Моделирование микроволновых устройств ФРТ**

1. Численные методы расчета пассивных структур СВЧ. Их виды. Сравнение.
2. Проверка сходимости решения в пакете ANSYS HFSS. Импорт и экспорт данных.
3. Задача.

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

В.Н. Малышев

Образцы задач (заданий) для контрольных (проверочных) работ

Примеры вопросов в контрольной работе:

1. Кратно поясните метод конечных элементов.
2. Какие граничные условия, существующие в ANSYS HFSS, вы знаете? Их электродинамический смысл?
3. Перечислите погрешности метода конечных элементов. Как минимизировать эти погрешности.
4. Что с точки зрения физики означает стремление функционала, используемого в методе конечных элементов, к экстремуму?
5. Алгоритм создания проекта в ANSYS HFSS.
6. Чем определяется критерий разбиения на тетраэдры ($\lambda/10$) в ANSYS HFSS?
7. Как осуществляется проверка сходимости решения в пакете ANSYS HFSS.
8. Пусть дана рупорная антенна, расположенная в пространстве, как представлено на рис.1. Какие углы φ и θ необходимо указать при построении 2D диаграмм направленности в азимутальной и угломестной плоскостях в среде ANSYS HFSS.
9. Какой порт необходимо выбрать для возбуждения микрополосковой линии, если Вы хотите учесть квази-ТЕМ волны, распространяющиеся в ней. Почему?
10. Для задания Lumped Port необходимо нарисовать прямоугольник. Какие граничные условия будут на ребрах данного прямоугольника при моделировании в ANSYS HFSS?

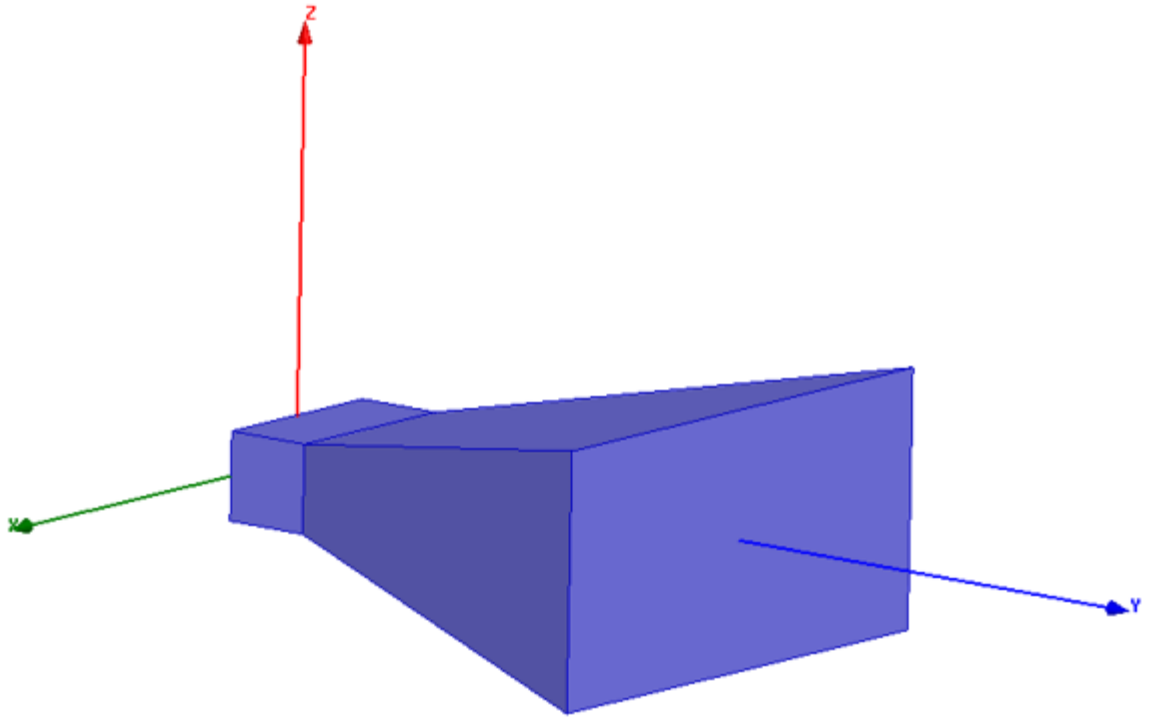


Рис.1.

11. В проекте в ANSYS HFSS назначены 2 волноводных порта. Как сделать так, чтобы оба из них были возбуждающими мощностью 5 Вт?

12. Что означает мнимая составляющая в резонансной частоте, найденная с помощью режима Eigen Mode в ANSYS HFSS?

Примерные задачи для допуска на экзамен:

1. Промоделировать в ANSYS HFSS печатную рамочную антенну (ширина проводника 0,5 мм) с частотой первого последовательного резонанса и параметрами диэлектрика, на котором она выполнена, согласно варианту. Сделать нормировку порта к входному сопротивлению антенны на первом последовательном резонансе. Построить графики входного сопротивления, модуля коэффициента отражения, 2D и 3D диаграммы направленности на частоте первого последовательного резонанса.

Варианты:

1. $f=1$ ГГц, $\epsilon=4,4$, $\text{tg}\delta=0,02$, $h=10$ мм

2. $f=0,5$ ГГц, $\epsilon=2,1$, $\text{tg}\delta=0,003$, $h=40$ мм

3. $f=1$ ГГц, $\epsilon=2.5$, $\text{tg}\delta=0,004$, $h=15$ мм
4. $f=2$ ГГц, $\epsilon=3$, $\text{tg}\delta=0,002$, $h=10$ мм
5. $f=0,7$ ГГц, $\epsilon=3$, $\text{tg}\delta=0,002$, $h=20$ мм
6. $f=1,2$ ГГц, $\epsilon=2,1$, $\text{tg}\delta=0,003$, $h=10$ мм
7. $f=3$ ГГц, $\epsilon=1,5$, $\text{tg}\delta=0,001$, $h=5$ мм
8. $f=0,1$ ГГц, $\epsilon=9,8$, $\text{tg}\delta=0,01$, $h=35$ мм
9. $f=1,8$ ГГц, $\epsilon=4,4$, $\text{tg}\delta=0,02$, $h=10$ мм
10. $f=0,4$ ГГц, $\epsilon=6$, $\text{tg}\delta=0,01$, $h=8$ мм
11. $f=1,5$ ГГц, $\epsilon=3$, $\text{tg}\delta=0,002$, $h=10$ мм

2. Промоделировать в ANSYS HFSS антенную решётку с использованием периодических граничных условий с количеством элементов по оси X - 4, по оси Y - 10. В качестве одиночного излучателя необходимо взять открытый конец прямоугольного волновода типоразмера согласно варианту. Длину отрезка волновода выбрать равной длине широкой стенки волновода a . Работать на центральной частоте диапазона. При создании ячейки Флоке учесть толщину стенок волновода 0,5 мм. Реализовать такой сдвиг фаз между элементами, чтобы угол сканирования был равен указанному в варианте. После расчета модели АР необходимо построить следующие графики:

1. Модуль коэффициента отражения в дБ.
2. Модуль коэффициента передачи (дБ) от волноводного порта до порта Флоке (для нескольких мод). Сделать вывод о числе мод, которые целесообразно учитывать в настройках порта Флоке.
3. 3D-диаграмму направленности АР на адаптивной частоте (**Gain**, Total, dB).
4. 2D-диаграммы направленности АР в плоскостях ZY и ZX на адаптивной частоте (**Gain**, Total, dB)

- Определить уровень главного лепестка, дБ
- Определить ширину главного лепестка ДН в плоскостях ZX и ZY.
- Определить уровень боковых лепестков в плоскостях ZX и ZY.

Варианты:

1. Типоразмер волновода 165,10 x 82,55 мм², частотный диапазон 1,15 - 1,72 ГГц, угол сканирования - 9 градусов.

2. Типоразмер волновода 129,54 x 64,77 мм², частотный диапазон 1,45 - 2,20 ГГц, угол сканирования - 15 градусов.

3. Типоразмер волновода 40,39 x 20,19 мм², частотный диапазон 4,90 - 7,05 ГГц, угол сканирования - 18 градусов.

4. Типоразмер волновода 34,85 x 15,80 мм², частотный диапазон 5,85 - 8,20 ГГц, угол сканирования - 30 градусов.

5. Типоразмер волновода 19,05 x 9,52 мм², частотный диапазон 10,00 - 15,00 ГГц, угол сканирования - 5 градусов.

6. Типоразмер волновода 7,05 - 10,00 мм², частотный диапазон 28,50 x 12,62 ГГц, угол сканирования - 8 градусов.

7. Типоразмер волновода 86,36 x 43,185 мм², частотный диапазон 2,20 - 3,30 ГГц, угол сканирования - 17 градусов.

3. В ANSYS HFSS необходимо нарисовать металлическую пластину, лежащую в плоскости ZY с центром в (0,0,0), и имеющую размеры по оси Y 1000 мм, по оси Z 500 мм. Падающую плоскую волну задать **горизонтальной поляризации** при θ от 80° до 90° с шагом 5°, ϕ от 0° до 360° с шагом 5°. В пункте Analysis, создав Setup с частотой разбиения 1 ГГц. В окне Project Manager необходимо создать в пункте **Radiation** сферу в дальней зоне и запустить расчёт.

После расчета модели необходимо построить следующие графики:

1. ЭПР в моностатическом режиме при облучении пластины при $\phi=0^\circ$,

$I\theta=90^\circ$.

2. Построить поверхностный ток для ситуации п. 1.
3. Построить поверхностный ток при условии расположения источника облучения на оси X, а точки наблюдения на оси Y.
4. Построить бистатическую ЭПР при расположении точек облучения и наблюдения согласно варианту. Построить поверхностный ток при заданных индивидуальных параметрах.

Варианты:

1. Точка источника облучения: $I\varphi=45^\circ$, $I\theta=80^\circ$, точка источника наблюдения: $\varphi=200^\circ$, $\theta=90^\circ$.
2. Точка источника облучения: $I\varphi=15^\circ$, $I\theta=85^\circ$, точка источника наблюдения: $\varphi=75^\circ$, $\theta=115^\circ$.
3. Точка источника облучения: $I\varphi=100^\circ$, $I\theta=90^\circ$, точка источника наблюдения: $\varphi=10^\circ$, $\theta=270^\circ$.
4. Точка источника облучения: $I\varphi=30^\circ$, $I\theta=90^\circ$, точка источника наблюдения: $\varphi=60^\circ$, $\theta=15^\circ$.
5. Точка источника облучения: $I\varphi=60^\circ$, $I\theta=90^\circ$, точка источника наблюдения: $\varphi=80^\circ$, $\theta=30^\circ$.
6. Точка источника облучения: $I\varphi=250^\circ$, $I\theta=80^\circ$, точка источника наблюдения: $\varphi=110^\circ$, $\theta=95^\circ$.
7. Точка источника облучения: $I\varphi=170^\circ$, $I\theta=85^\circ$, точка источника наблюдения: $\varphi=5^\circ$, $\theta=80^\circ$.

Примерные задачи на экзамене:

1. Построить распределение вектора H и E в прямоугольном волноводе с сечением 72×34 мм² (диапазон частот от 2,59 ГГц до 3,94 ГГц) для трёх первых мод в пакете ANSYS HFSS.

2. Определить первую собственную резонансную частоты металлического куба размером $20 \times 20 \times 20$ мм³, заполненного воздухом.

3. Промоделировать полуволновый диполь на частоту 1 ГГц, расположенный в воздушном пространстве. Построить 3D диаграмму направленности для данной структуры на резонансной частоте.

4. Определить первую собственную резонансную частоты металлического диска диаметром 10 мм, расположенного на диэлектрике 15×15 мм² с $\epsilon=9,8$ и высотой 1 мм, расположенного в металлическом корпусе.

5. Промоделировать прямоугольный волновод с сечением 72×34 мм² (диапазон частот от 2,59 ГГц до 3,94 ГГц) с учётом симметрии.

6. Рассчитать ЭПР куба размером $1 \times 1 \times 1$ м³ в моностатическом режиме при облучении его плоской волной вертикальной поляризации частотой 1 ГГц, источник которой расположен в точке с углами $\theta=90^\circ$, $\varphi=75^\circ$.

7. Рассчитать ЭПР шара диаметром 5 м в точке с углами $\theta=80^\circ$, $\varphi=75^\circ$ при облучении его плоской волной горизонтальной поляризации частотой 1 ГГц, источник которой расположен в точке с углами $\theta=90^\circ$, $\varphi=15^\circ$.

Весь комплект контрольно-измерительных материалов для проверки сформированности 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
1	Метод конечных элементов Моделирование СВЧ устройств в ANSYS HFSS. Граничные условия и порты в ANSYS HFSS	
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		Контрольная работа
15	Моделирование СВЧ устройств в ANSYS HFSS. Граничные условия и порты в ANSYS HFSS	
16		
17		ИДЗ / ИДРГЗ / ИДРЗ

6.4 Методика текущего контроля

на лекционных занятиях.

Текущий контроль включает в себя контроль посещаемости (не менее 75% занятий) и выполнение контрольной работы, по результатам которых студент получает допуск на экзамен.

Оценка за контрольную работу формируется следующим образом:

«Отлично» – контрольная работа выполнена без замечаний;

«Хорошо» – контрольная работа выполнена с незначительными замечаниями;

«Удовлетворительно» – контрольная работа выполнена с ошибками;

«Не удовлетворительно» – контрольная работа не выполнена или выполнена с

грубыми ошибками.

Если студент посетил менее 75% занятий, то для допуска на экзамен на

зачётной неделе проводится собеседование, по результату которого принимается решение о допуске студента на экзамена.

самостоятельной работы студентов.

Контроль самостоятельной работы студентов осуществляется на лекционных занятиях студентов по методикам, описанным выше.

при выполнении индивидуального домашнего задания

Текущий контроль при выполнении индивидуального домашнего задания осуществляется в соответствии с заданием на индивидуального домашнего задание. Задание выдается на третьем лекционном занятии, защита работ проводится с 15 недели.

Оформление пояснительной записки на индивидуальное домашнее задание выполняется в соответствии с требованиями к студенческим работам, принятым в СПбГЭТУ «ЛЭТИ». Защита индивидуального домашнего задания осуществляется в соответствии с требованиями «Положения о промежуточной аттестации».

Готовность индивидуального домашнего задания к защите определяется преподавателем по результатам проверки пояснительной записки.

Оценка за индивидуальное домашнее задание формируется по следующей шкале:

«Отлично» – индивидуальное домашнее задание выполнено без замечаний или с незначительными замечаниями, при защите индивидуального домашнего задания даны исчерпывающие пояснения;

«Хорошо» – индивидуальное домашнее задание выполнено с незначительными замечаниями, при защите индивидуального домашнего задания даны удовлетворительные пояснения или же индивидуальное домашнее задание выполнено с ошибками, однако при защите даны исчерпывающие пояснения и предложены решения исправления ошибок;

«Удовлетворительно» – индивидуальное домашнее задание выполнено с ошибками, при защите индивидуального домашнего задания даны удовлетворительные пояснения или же индивидуальное домашнее задание выполнено с незначительными замечаниями, однако удовлетворительных комментариев при защите не последовало;

«Неудовлетворительно» – индивидуальное домашнее задание не выполнено или выполнено с грубыми ошибками.

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
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 7 и выше; 2) Microsoft Office 2007 и выше; 3) ANSYS HFSS 15 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