

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

Радиофизический факультет

УТВЕРЖДЕНО:

Декан

А. Г. Коротаев

Рабочая программа дисциплины

Компьютерные модели СВЧ устройств

по направлению подготовки / специальности

11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы

Направленность (профиль) подготовки / специализация:

радиоэлектронные системы передачи информации

Форма обучения

Очная

Квалификация

Инженер

Год приема

2025

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ОП

В.А. Мещеряков

Председатель УМК

А.П. Коханенко

Томск – 2025

1. Цель и планируемые результаты освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ОПК-8 Способен использовать современные программные и инструментальные средства компьютерного моделирования для решения различных исследовательских и профессиональных задач.

ОПК-9 Способен разрабатывать алгоритмы и компьютерные программы, пригодные для практического применения.

ПК-3 Способен формулировать математические модели процессов и явлений, происходящих в радиоэлектронных системах и на их основе проводить компьютерное моделирование и оптимизацию.

ПК-4 Способен выполнять исследования с целью совершенствования и роста технических характеристик радиоэлектронной аппаратуры с использованием стандартных пакетов прикладных программ.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИОПК-8.1 Использует современные информационные технологии и программное обеспечение при решении задач профессиональной деятельности

ИОПК-8.2 Использует компьютерные системы поиска, хранения, обработки, анализа и представления информации

ИОПК-8.3 Соблюдает требования информационной безопасности при использовании современных информационных технологий и программного обеспечения

ИОПК-9.1 Применяет современные инструментальные системы программирования и компьютерного моделирования при решении прикладных задач.

ИОПК-9.2 Владеет навыками работы в компьютерной среде.

ИПК-3.1 Использует фундаментальные знания о физической природе и физических явлениях происходящих элементах и объектах радиоэлектронных систем и комплексов

ИПК-3.2 Разрабатывает математические модели исследуемых физических процессов, приборов, схем и электронных систем

ИПК-4.1 Применяет прикладные методы моделирования процессов в радиоэлектронных системах передачи информации

ИПК-4.2 Владеет приемами компьютерного моделирования радиоэлектронных систем и комплексов передачи информации с целью предсказания и улучшения их параметров

ИПК-4.3 Применяет стандартные прикладные программные средства при проведении модельных экспериментов

2. Задачи освоения дисциплины

– освоение студентами методов численного расчета различных задач электродинамики с помощью современных специализированных программных продуктов,

– получение навыков построения трехмерных графических моделей и задания начальных и граничных условий для конкретных электродинамических задач,

– развитие способностей студентов анализировать полученные результаты моделирования.

3. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина относится к Блоку 1 «Дисциплина (модули)».

Дисциплина относится к части образовательной программы, формируемой участниками образовательных отношений, предлагается обучающимся на выбор.

4. Семестр(ы) освоения и форма(ы) промежуточной аттестации по дисциплине

Десятый семестр, зачет с оценкой

5. Входные требования для освоения дисциплины

Для успешного освоения дисциплины требуются результаты обучения по следующим дисциплинам: «Основы информатики», «Алгоритмы и программы», «Электродинамика», «Устройства СВЧ и антенны».

6. Язык реализации

Русский

7. Объем дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 8 з.е., 288 часов, из которых:

– лекции: 16 ч.

– лабораторные: 32 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

8. Содержание дисциплины, структурированное по темам

Тема 1. Методы и средства моделирования СВЧ-устройств.

Обзор возможностей и особенностей коммерческих продуктов 4NEC2, Ansoft HFSS, Altair FEKO, AWR Microwave Office. Уравнения электродинамики. Граничные условия. Теорема эквивалентности.

Тема 2. Метод моментов

Этапы решения задачи в методе моментов. Скалярное произведение в функциональном анализе. Базисные функции универсальные и использующие априорную информацию. Виды базисных функций Тестовые функции. Описание источников в методе моментов. Понятие порта.

Тема 3. Метод конечных элементов

Дискретизация пространства. Линейная аппроксимация. Аппроксимирующие функции высших порядков. Вывод системы линейных алгебраических уравнений. Расчет полей в портах. Многомодовые порты. Метод сдвига отсчетной плоскости.

Тема 4. Метод конечного интегрирования

Дискретизация интегральных уравнений Максвелла во временной области. Ячейка Йи. Понятие самодополнительного пространства. Вычисление собственных частот. Метод дискретизации изогнутых поверхностей. Использование дробления сетки .

Тема 5. Многополюсники СВЧ

Понятие многополюсника. Линейность, пассивность, стационарность. Классические и волновые матрицы многополюсников. Матрица рассеяния. Физический смысл элементов матрицы рассеяния. Каскадное соединение четырехполюсников.

Тема 6. Система автоматизированного проектирования CST Studio Suite

Изучение графического интерфейса. Построение СВЧ-модели из графических примитивов. Задание вида возбуждения. Задание граничных условий. Запрос решения 3D полей. Интерпретация результатов. Параметрическая оптимизация.

Лабораторные работы: 1. Моделирование в среде CST Studio Suite симметричного диполя с цилиндрическими плечами. 2. Моделирование биконусной антенны. 3. Моделирование коаксиальной линии. 4. Моделирование микрополосковой линии. 5. Моделирование коаксиально-полоскового перехода/

9. Текущий контроль по дисциплине

Текущий контроль по дисциплине проводится путем контроля посещаемости и контроля выполнения лабораторных работ, фиксируется в форме контрольной точки не менее одного раза в семестр.

10. Порядок проведения и критерии оценивания промежуточной аттестации

Зачет с оценкой в десятом семестре проводится в форме теста по всему материалу. К зачету допускаются только студенты, аттестованные по лабораторным занятиям и по результату контрольных работ. Формирование оценки по каждой лабораторной работе указано в Таблице 1.

Студенту предлагается десять случайных неповторяющихся вопросов из списка, приведенных в Таблице 2. Оценка успеваемости студента по промежуточной аттестации формируется в соответствии с Таблицей 3.

Таблица 1 – Формирование оценки по каждой лабораторной работе.

Критерии оценивания результатов обучения	
работа выполнена	работа не выполнена
зачтено	не зачтено

Таблица 2 – Примерный перечень вопросов теста

№	Вопрос	Варианты ответа
1	Какое напряжение действует на входе коаксиальной линии при возбуждении её волноводным портом с мощностью 1 Вт?	а) 1 Вольт; б) квадратный корень из мощности, деленной на волновое сопротивление; в) квадратный корень из мощности, умноженной на волновое сопротивление.
2	Что означают открытые граничные условия в CST Microwave Studio?	а) трехмерная модель открыта для изменения; б) это модель свободного пространства; в) количество ячеек сетки может быть сколь угодно большим.
3	Чем определяется время расчета проекта в CST Microwave Studio	а) только количеством ячеек разбиения расчетной области; б) только объемом оперативной памяти компьютера; в) только размером расчетной области; г) всеми перечисленными факторами
4	Чем определяется временная форма возбуждающего импульса при расчете во временной области? (два ответа)	а) верхней и нижней частотой, заданными в проекте; б) набором точек, считанных из файла; в) типом возбуждения; г) граничными условиями.
5	Как определить матрицу рассеяния каскадно-соединенных четырехполюсников?	а) перемножить их матрицы рассеяния; б) сложить их матрицы рассеяния; в) перемножить их матрицы передачи; г) сложить их матрицы передачи.

6	Каков результат булевой операции Add над двумя трехмерными объектами?	а) из первого объекта вычитается второй; б) к первому объекту прибавляется второй; в) остается область пересечения точек двух объектов; г) остаются точки объектов, за исключением области пересечения объектов.
7	Каков результат булевой операции Intersect над двумя трехмерными объектами?	а) из первого объекта вычитается второй; б) к первому объекту прибавляется второй; в) остается область пересечения точек двух объектов; г) остаются точки объектов, за исключением области пересечения объектов.
8	В каких режимах может работать двухпроводная линия, расположенная над проводящим экраном	а) только в противофазном; б) только в синфазном; в) одновременно в противофазном и синфазном.
9	Как учесть влияние высших типов волн при моделировании?	а) уменьшить размер расчетной области; б) рассчитать несколько задач при возбуждении разными типами волн; в) увеличить нижнюю частоту, заданную в проекте; г) уменьшить размер волноводного порта.
10	Каким способом нельзя задать возбуждение микрополосковой линии в CST Microwave Studio?	а) волноводным портом; б) портом с сосредоточенными параметрами; в) плоской волной; г) можно всеми перечисленными.
11	Как определить минимально достаточную плотность ячеек сетки?	а) увеличить количество ячеек в два раза; б) уменьшить количество ячеек сетки в два раза в) увеличивать количество ячеек сетки до тех пор, пока результат расчета не перестанет меняться
12	Можно ли возбудить колебания в прямоугольном волноводе с помощью сосредоточенного порта	а) можно б) нельзя
13	Частичный фазовый центр антенны это...	а) центр кривизны дуги окружности, аппроксимирующей поверхность равных фаз б) центр эквивалентной поверхности, представляющей собой сферу в) центр кривизны эквивалентной поверхности для выбранного телесного угла
14	В CST Studio Suite можно задать возбуждение электродинамической структуры	а) волноводным портом б) волноводным и сосредоточенным портами в) плоской волной г) всеми перечисленными способами
15	Для решения задачи во временной области в CST Studio Suite используется метод	а) метод конечного интегрирования б) метод конечного дифференцирования в) метод физической оптики г) метод Бубнова-Галеркина
16	В каких единицах измеряется	а) В/м (Вольт на метр)

	напряженность магнитного поля?	б) А/м (Ампер на метр) в) Тл (Тесла) г) Гс (Гаусс)
17	Какая матрица однозначно определяет свойства четырехполюсника?	а) матрица рассеяния б) матрица конформного преобразования в) матрица диэлектрической проницаемости
18	Какие граничные условия следует выбрать для расчета излучения антенн?	а) Open (открытые) б) Open add sparse (открытые с добавлением пространства) в) любое из перечисленных
19	В чем измеряется напряженность электрического поля?	а) Генри/метр б) Вольт/метр в) Фарада/метр г) Ампер/метр квадратный
20	Основная мода прямоугольного волновода...	а) E_{01} б) E_{00} в) H_{01} г) H_{11}
21	Как соотносятся длина волны в пустом прямоугольном волноводе и длина волны в свободном пространстве при одинаковой частоте генератора?	а) они равны б) длина волны в волноводе меньше длины волны в свободном пространстве в) длина волны в волноводе больше длины волны в свободном пространстве
22	Какое покрытие внешней поверхности волновода способствует уменьшению потерь при распространении волны в прямоугольном волноводе?	а) золотом б) серебром в) оловом г) лаком д) ни одно из перечисленных

Таблица 3 – Формирование оценки по промежуточной аттестации.

Критерии оценивания результатов обучения			
Выполнено менее 40% заданий теста	Выполнено 60% заданий теста	Выполнено 80% заданий теста	Выполнены все задания теста
неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	отлично

11. Учебно-методическое обеспечение

а) Электронный учебный курс по дисциплине в электронном университете «Moodle» - <https://moodle.tsu.ru/course/view.php?id=3695>

б) Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.

12. Перечень учебной литературы и ресурсов сети Интернет

а) основная литература:

– Курушин А.А. Школа проектирования СВЧ устройств в CST Studio Suite. – М.: «One-Book», 2014. – 433 с.

– Фатеев А.В. Применение ПО CST Microwave Studio для расчёта микроволновых антенн и устройств СВЧ: Учебное пособие. – Томск: Изд-во ТУСУР, 2014. – 121 с.

– Курушин А.А., Пластиков А.Н. Проектирование СВЧ устройств в среде CST Microwave Studio. – М.: Изд-во МЭИ, 2011. – 155 с. – ...

б) дополнительная литература:

– Банков С.Е., Курушин А.А. История САПР СВЧ (1950-2010). – М., 2016. – 90 с.

– Курушин А.А. Расчет теплового поля в биологических объектах под воздействием СВЧ излучения / под ред. В.А.Пермякова – М.: «One-Book», 2015, 403 с.

– Банков С.Е., Курушин А.А. Электродинамика для пользователей САПР. – М.: 2008. – 276 с.

в) ресурсы сети Интернет:

– CST – Electromagnetic simulation software – webinars [Электронный ресурс] <https://www.youtube.com/user/CSTworld/> (дата обращения 01.02.2023).

– Форум разработчиков электроники – Вопросы по CST [Электронный ресурс] – <https://electronix.ru/forum/index.php?app=forums&module=forums&controller=topic&id=33031&page=220#comments> (дата обращения 01.02.2023).

– Дополнительные материалы по программе CST Studio Suite [Электронный ресурс] – http://eurointech.ru/eda/microwave_design/cst/ (дата обращения 01.02.2023).

13. Перечень информационных технологий

а) лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

– Microsoft Office, приложения: MS Office Word, MS Office Excel, MS Office PowerPoint

– CST Studio Suite, лицензия LN00029178508 от 10.12.2019

– публично доступные облачные технологии (Яндекс диск).

б) информационные справочные системы:

– Электронный каталог Научной библиотеки ТГУ – <http://chamo.lib.tsu.ru/search/query?locale=ru&theme=system>

– Электронная библиотека (репозиторий) ТГУ – <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Index>

– ЭБС Лань – <http://e.lanbook.com/>

14. Материально-техническое обеспечение

Аудитории для проведения занятий лекционного типа.

Аудитории для проведения занятий семинарского типа, индивидуальных и групповых консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.

Помещения для самостоятельной работы, оснащенные компьютерной техникой и доступом к сети Интернет, в электронную информационно-образовательную среду и к информационным справочным системам.

15. Информация о разработчиках

Балзовский Евгений Владимирович, кандидат физ.-мат. наук, кафедра радиофизики РФФ ТГУ, доцент