

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

Радиофизический факультет

УТВЕРЖДЕНО:

Декан

А. Г. Коротаев

Рабочая программа дисциплины

Измерения на СВЧ

по направлению подготовки / специальности

11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы

Направленность (профиль) подготовки / специализация:

Радиоэлектронные системы передачи информации

Форма обучения

Очная

Квалификация

Специалист

Год приема

2025

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ОП

В.А. Мещеряков

Председатель УМК

А.П. Коханенко

Томск – 2025

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

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

ПК-5 Способен формировать и реализовывать программы макетных и экспериментальных исследований.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

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

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

ИПК 5.1 Формирует программу проведения экспериментальных исследований

ИПК 5.2 Обосновывает программу эксперимента, обрабатывает результаты эксперимента, оценивает погрешности экспериментальных результатов

ИПК 5.3 Владеет: методикой и техникой проведения экспериментальных исследований и измерений параметров и характеристик изделий электронной техники; методами анализа результатов измерений

2. Задачи освоения дисциплины

– Освоить навыки целенаправленной работы с учебной и научной литературой по методам теоретического и экспериментального исследования магнитной и диэлектрической проницаемостей природных и искусственных материалов в широком диапазоне частот.

– Научиться применять понятийный аппарат физики твердого тела, физики полупроводников, конденсированных сред и метрологии для решения практических задач профессиональной деятельности.

3. Место дисциплины в структуре образовательной программы

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

Дисциплина относится к части образовательной программы, формируемой участниками образовательных отношений, предлагается обучающимся на выбор. Дисциплина входит в модуль Модуль «».

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

Восьмой семестр, зачет

5. Входные требования для освоения дисциплины

Для успешного освоения дисциплины требуются компетенции, сформированные в ходе освоения образовательных программ предшествующего уровня образования.

Для успешного освоения дисциплины требуются результаты обучения по следующим дисциплинам: «Физика», «Магнитные свойства материалов», «Распространение электромагнитных волн».

6. Язык реализации

Русский

7. Объем дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 з.е., 108 часа, из которых:
-лекции: 46 ч.

в том числе практическая подготовка: 0 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

8. Содержание дисциплины, структурированное по темам

Тема 1. Введение. Общий алгоритм методики физического эксперимента. Классификация диапазонов электромагнитного излучения. Виды измерений на СВЧ. Примеры практических задач и фундаментальных физических проблем, решаемых на основе результатов измерений на СВЧ.

Тема 2. Математическая модель. Материальные уравнения электродинамики. Формальное определение электромагнитных параметров материалов. Виды сред: линейность, анизотропия, однородность. Электромагнитные параметры материалов для переменных полей. Временная и пространственная дисперсии. Дисперсионные соотношения Крамерса -Кронига.

Тема 3. Физические механизмы поляризации и намагничивания. Поляризация по Фарадею. Виды поляризации: электронная, ионная, ориентационная, межслоевая. Спонтанная поляризация. Движение основных структур заряженных частиц в электрическом поле. Теория Клаузиуса – Моссотти. Связь микро- и макроскопических электрофизических свойств. Классификация материалов по электрофизическим свойствам. Таблица значений диэлектрической проницаемости и удельной проводимости.

Тема 4. Физические механизмы намагничивания. Диамагнетизм, парамагнетизм. Магнитоупорядоченные вещества. Доменная структура. Основная кривая намагничивания. Размерный эффект, магнитные наноматериалы. Классификация материалов по магнитным свойствам. Таблица значений магнитной проницаемости.

Тема 5. Композиционные среды. Классификация композиционных материалов. Наноматериалы. Обобщенная проводимость неоднородных сред.

Тема 6. Частотные зависимости комплексной диэлектрической проницаемости. Диэлектрики в переменных полях. Формула Лоренца. Теория Дебая. Современные теории. Спектры диэлектрической проницаемости твердых диэлектриков, наноматериалов, полярных жидкостей и биологической ткани.

Тема 7. Частотные зависимости комплексной магнитной проницаемости. Ферромагнитный резонанс. Уравнение Ландау - Лифшица. Вынужденные колебания намагниченности. Учет диссипации. Спектры магнитной проницаемости. Резонанс доменных границ. Естественный ферромагнитный резонанс в материалах с различной кристаллографической структурой.

Тема 8. Измерительные приборы гигагерцового и терагерцового диапазонов. Генераторы. Частотомеры. Измерители длины волны. Измерители мощности. Панорамные измерители КСВн. Скалярные и векторные анализаторы цепей. Анализаторы спектра. Осциллографы.

Тема 9. Экспериментальные методы исследования электромагнитных параметров материалов на СВЧ. Особенности выделенных участков частотного диапазона. Квазиоптические методы. Резонаторный метод. Многомодовый прямоугольный резонатор. Нерегулярный микрополосковый резонатор. Волноводные методы. Время-импульсная спектроскопия. Пондеромоторный метод. Калориметрический метод. Обзор современных методов измерения. Автоматизация измерений.

Тема 10. Метрологическое обеспечение измерений. Общая и законодательная метрология. Метрологическая терминология. Обеспечение единства измерений.

Стандартные образцы и стандартные средства измерений. Достоверность результатов. Погрешности измерения резонаторного метода

Заключение. Современные проблемы радиофизического метода исследования фундаментальных характеристик материалов. Обзор рынка измерительной техники.

• ...

9. Текущий контроль по дисциплине

Текущий контроль по дисциплине проводится путем контроля посещаемости, проведения контрольных работ, тестов по лекционному материалу, устного опроса во время занятий, и фиксируется в форме контрольной точки не менее одного раза в семестр.

Оценочные материалы текущего контроля размещены на сайте ТГУ в разделе «Информация об образовательной программе» - <https://www.tsu.ru/sveden/education/eduop/>.

10. Порядок проведения и критерии оценивания промежуточной аттестации

Зачет в восьмом семестре проводится в виде: предоставления рефератов, либо презентаций, либо в устной форме по билетам. Экзаменационный билет состоит из двух частей. Продолжительность зачета 1 час.

Оценочные материалы для проведения промежуточной аттестации размещены на сайте ТГУ в разделе «Информация об образовательной программе» - <https://www.tsu.ru/sveden/education/eduop/>.

11. Учебно-методическое обеспечение

а) Электронный учебный курс по дисциплине в электронном университете «Moodle» - <https://lms.tsu.ru/course/view.php?id=00000>

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

в) План семинарских / практических занятий по дисциплине.

12. Перечень учебной литературы и ресурсов сети Интернет

а) основная литература:

– Григорьев, А. Д. Направленные электромагнитные волны : учебник для вузов / А. Д. Григорьев. — Санкт-Петербург : Лань, 2024. — 216 с.

– Каганов, В. И. Радиотехника: от истоков до наших дней: учебное пособие / В.И. Каганов — Москва : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2025. — 352 с. URL: <https://znanium.ru/catalog/product/2170456>.

–Авксентьев, А. А. Устройства СВЧ для радиоэлектронных систем : учебное пособие / А. А. Авксентьев, Н. Е. Стахова, Г. А. Морозов. - 2-е изд., пејaggajj, и доп. - Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2024. -156 с.

– Мошчевский Ю.. В. Теоретические основы радиотехники. Сигналы; учебное пособие для вузов / Ю. В. Мошчевский, А. С. Нечаев. —6-е изд.. стер. — Санкт-Петербург.; Лань. 2024. —216 с.

– Капустин В. И. Материаловедение и технологии электроники В. И. Капустина, А. С. Сигов. -Москва.; ИНФРА-М, 2023. - 425, [1] с. (Читальный зал 5, расстановочный шифр 621.3 K207).

– Никольский В. В. Теория электромагнитного поля : [учебное пособие для радиотехнических специальностей втузов] / В. В. Никольский.— Изд. 4-е. — Москва; Денанд. 2020. —383 с.

– Галочкин В. А. Схемотехника аналоговых и цифровых устройств : учебник / В. А. Галочкин. • Москва [и др.] : Инфрэ-Инженерия, 2023. - 311 с: ил., табл. (Читальный зал 5, расстановочный шифр 621.3 Г167.

– Сорокин В. С. Материалы и элементы электронной техники. Активные диэлектрики, магнитные материалы, элементы электронной техники / В. С. Сорокин, Б. Л. Антипов, Н. П.

Лазарева.– Изд. 3-е, стер.. • Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2022. • 377 с: – (Высшее образование) (Читальный зал 5, расстановочный шифр 621.3 С654).

– Кошелев В. И. Основы теории радиосистем и комплексов радиоэлектронной борьбы : учебное пособие / В. И. Кошелев. - Москва : КУРС, 2023. - 200 с: (Читальный зал 5, расстановочный шифр 621.3 К76).

– Гимпиевич, Ю. Б. Сигналы и процессы в радиоэлектронике,,: учебник Ю.Б. Гимпиевич,- — Москва : ИНФРА-М, 2024. — 245 с. — {Высшее образование). — DOI 10.12737/1852258.-URL:<https://znanium.ru/catalog/product/1852258>.

– Козлов, А. И. Популярно о радиолокации : учебное пособие / А. И. Козлов, Б. В. Лежанкин, Д. С. Адамов. - Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2024. -184 с. URL: <https://znanium.ru/catalog/product/2171008>

б) дополнительная литература:

. – Халилов, Ш. А. Безопасность жизнедеятельности ; учебное пособие / Ш.А. Халилов, А.Н. Маликов, В.П. Еюан^в, ; под ред. Ш.А. Халилова. — Москва : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2022. —576 с. <https://znanium.com/calalog/document?pid=1841091>

– Мырова Л.О. Влияние опасных излучений на человека / Л Л.О. Мырова, Н.Н. Грачев, В.Н. Никитина.. - М.: ООО «ВИЗАВИ», 2017.-414 с.

– Тюрнев В. В. Теория цепей СВЧ: Учеб. Пособие/ В. В. Тюрнев // Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2003.– 194 с.

– Емельянова Ю. В. Импедансная спектроскопия: теория и применение : учеб. пособие / Ю. В. Емельянова, М. В. Морозова, З. А. Михайловская, Е. С. Буянова ; под общ. ред. Е. С. Буяновой ; М-во образования и науки Рос. Федерации, Урал, федер. ун-т. — Екатеринбург : Изд-во Урал, ун-та, 2017. – 156 с

Интернет ресурсы

– Радиопоглощающие и Радиопрозрачные материалы

Электронный ресурс URL: <https://intellect.icu/radiopogloshhayushhie-i-radioprozrachnye-materialy-7726> , дата обращения 12 января

– 02 Keysight Векторные анализаторы цепей –Руководство по выбору.URL: <https://www.ktspegroup.ru/stati/%D0%A0%D1%83%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%BE%20%D0%BF%D0%BE%20%D0%B2%D1%8B%D0%B1%D0%BE%D1%80%D1%83%20%D0%B0%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%B7%D0%B0%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B2%20%D1%86%D0%B5%D0%BF%D0%B5%D0%B9.pdf>

13. Перечень информационных технологий

а) лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

а) лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

– Microsoft Office Standart 2013 Russian: пакет программ. Включает приложения: MS Office Word, MS Office Excel, MS Office PowerPoint, MS Office On-eNote, MS Office Publisher, MS Outlook, MS Office Web Apps (Word Excel MS PowerPoint Outlook);

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/>

– ЭБС Консультант студента – <http://www.studentlibrary.ru/>

– Образовательная платформа Юпайт – <https://urait.ru/>

– ЭБС ZNANIUM.com – <https://znanium.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.

Лаборатории, оборудованные: стенды для измерения электромагнитного отклика и электромагнитных параметров материалов, аналитические весы, камера тепла и холода, ультразвуковой прибор.

Аудитории для проведения занятий лекционного и семинарского типа индивидуальных и групповых консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации в смешенном формате («Актру»).

15. Информация о разработчиках

Сусяев Валентин Иванович, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, доцент, Национальный исследовательский Томский государственный университет, доцент кафедры радиоэлектроники.