

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

УТВЕРЖДАЮ  
Директор по образовательной  
деятельности

\_\_\_\_\_ С.Т. Князев  
«\_\_\_» \_\_\_\_\_

### РАБОЧАЯ ПРОГРАММА МОДУЛЯ

Код модуля	Модуль
1159336	Измерение СВЧ параметров материалов

Екатеринбург

<b>Перечень сведений о рабочей программе модуля</b>	<b>Учетные данные</b>
<b>Образовательная программа</b> 1. Физическая электроника	<b>Код ОП</b> 1. 11.04.04/33.02
<b>Направление подготовки</b> 1. Электроника и наноэлектроника	<b>Код направления и уровня подготовки</b> 1. 11.04.04

Программа модуля составлена авторами:

<b>№ п/п</b>	<b>Фамилия Имя Отчество</b>	<b>Ученая степень, ученое звание</b>	<b>Должность</b>	<b>Подразделение</b>
1	Чолах Сеиф Османович	доктор физико- математических наук, профессор	Профессор	электрофизики

**Согласовано:**

Управление образовательных программ

Р.Х. Токарева

# 1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МОДУЛЯ Измерение СВЧ параметров материалов

## 1.1. Аннотация содержания модуля

В модуле рассматриваются методы измерения параметров материалов в СВЧ диапазоне электромагнитных волн. Цель модуля состоит в изучении общих принципов выполнения измерений параметров СВЧ устройств и элементов интегральных схем, а также в освоении современного измерительного оборудования и методик его калибровки.

## 1.2. Структура и объем модуля

Таблица 1

№ п/п	Перечень дисциплин модуля в последовательности их освоения	Объем дисциплин модуля и всего модуля в зачетных единицах
1	Измерение СВЧ параметров материалов	3
ИТОГО по модулю:		3

## 1.3. Последовательность освоения модуля в образовательной программе

Пререквизиты модуля	Не предусмотрены
Постреквизиты и кореквизиты модуля	Не предусмотрены

## 1.4. Распределение компетенций по дисциплинам модуля, планируемые результаты обучения (индикаторы) по модулю

Таблица 2

Перечень дисциплин модуля	Код и наименование компетенции	Планируемые результаты обучения (индикаторы)
1	2	3
Измерение СВЧ параметров материалов	ПК-4 - Способен к организации и проведению экспериментальных исследований с использованием пучков корпускулярного и электромагнитного излучения, электрического разряда в	З-1 - Определять возможности и порядок использования лабораторного оборудования для исследовательских и экспериментальных работ по анализу материалов и опробованию технологических процессов  У-1 - Формулировать техническое задание на проведение исследований материалов для приборов оптоэлектроники и фотоники и экспериментальную проверку технологических процессов

	газах и вакууме, потоков плазмы	П-1 - Осуществлять обоснованный выбор оптимального варианта технологического процесса
	ПК-5 - Способен к профессиональной эксплуатации приборов, сложных физических систем и уникальных научно-производственных комплексов, использующих мощные и сверхмощные потоки корпускулярного и электромагнитного излучений	<p>З-1 - Описывать методики сбора информации о возможных моделях технологического оборудования</p> <p>У-1 - Оценивать ремонтпригодность технологического оборудования</p> <p>П-1 - Предлагать варианты технической реализации заданных технологических процессов производства приборов сильноточной электроники</p> <p>П-2 - Иметь практический опыт получения и использования пучков корпускулярного и электромагнитного излучения, электрического разряда в газах и вакууме, потоков плазмы</p>

### 1.5. Форма обучения

Обучение по дисциплинам модуля может осуществляться в очной формах.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Измерение СВЧ параметров материалов**

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

<b>№ п/п</b>	<b>Фамилия Имя Отчество</b>	<b>Ученая степень, ученое звание</b>	<b>Должность</b>	<b>Подразделение</b>
1	Щербинин Сергей Витальевич	кандидат технических наук, без ученого звания	Доцент	электрофизики

**Рекомендовано учебно-методическим советом института Физико-технологический**

Протокол № 9 от 14.05.2021 г.

# 1. СОДЕРЖАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИНЫ

Авторы:

- Щербинин Сергей Витальевич, Доцент, электрофизики

## 1.1. Технологии реализации, используемые при изучении дисциплины модуля

- Традиционная (репродуктивная) технология
- Разноуровневое (дифференцированное) обучение
  - Базовый уровень

*\*Базовый I уровень – сохраняет логику самой науки и позволяет получить упрощенное, но верное и полное представление о предмете дисциплины, требует знание системы понятий, умение решать проблемные ситуации. Освоение данного уровня результатов обучения должно обеспечить формирование запланированных компетенций и позволит обучающемуся на минимальном уровне самостоятельности и ответственности выполнять задания;*

*Продвинутый II уровень – углубляет и обогащает базовый уровень как по содержанию, так и по глубине проработки материала дисциплины. Это происходит за счет включения дополнительной информации. Данный уровень требует умения решать проблемы в рамках курса и смежных курсов посредством самостоятельной постановки цели и выбора программы действий. Освоение данного уровня результатов обучения позволит обучающемуся повысить уровень самостоятельности и ответственности до творческого применения знаний и умений.*

## 1.2. Содержание дисциплины

Таблица 1.1

Код раздела, темы	Раздел, тема дисциплины*	Содержание
1	Введение	Область высоких частот (ВЧ) и сверхвысоких частот (СВЧ) в спектре электромагнитных волн. Взаимодействие электромагнитных волн с различными материалами. Основные параметры материалов, применяемых в технике СВЧ.
2	Применение концепции многополюсников в технике СВЧ	Многополюсники и четырехполюсники в цепях СВЧ. Основные параметры четырехполюсников. Методы преобразования параметров четырехполюсников. Волновые параметры четырехполюсников. Представление четырехполюсников в виде эквивалентных схем.
3	Линии передачи в технике СВЧ. Измерительная ячейка на основе отрезка линии передачи	Применение линий передачи в технике СВЧ. Основные параметры линий передачи. Отрезок линии передачи как четырехполюсник. Представление измерительной ячейки в виде отрезка линии передачи. Понятие опорной плоскости. Применение для расчетов Диаграммы Смита-Вольперта.
4	Приборы и методы, применяемые для измерения параметров материалов в диапазоне СВЧ	Измерение электрических параметров четырехполюсников с помощью векторного анализатора цепей (ВАЦ) и анализатора спектра. Однопортовые и двухпортовые измерения. Теоретическое обоснование измерений в режимах холостого хода, короткого замыкания и согласованной нагрузки.
5	Применение волноводных и коаксиальных линий передачи в измерительном тракте	Распространение электромагнитных волн в полом волноводе. Основной тип волны в полом прямоугольном волноводе. Создание измерительного тракта на основе прямоугольного волновода. Распространение электромагнитных волн в коаксиальном волноводе. Измерительная ячейка на основе

		коаксиального волновода. Погрешности измерений образцов в волноводной и коаксиальной измерительных ячейках.
6	Методы преобразования измеряемых параметров четырехполюсников в параметры материалов, помещенных в измерительную ячейку	Определение диэлектрической и магнитной проницаемости, проводимости вещества на основе электрических параметров четырехполюсника. Определение тангенса диэлектрических потерь и тангенса магнитных потерь материала. Влияние смещения опорной плоскости, смещения образца и других факторов на результаты преобразования измерений в искомые параметры материалов.
7	Измерение параметров материалов образцов, помещенных в СВЧ резонатор и в открытом пространстве	Виды СВЧ резонаторов. Типы волн в СВЧ резонаторе. Короткозамкнутый отрезок волновода как СВЧ резонатор. Влияние образца, помещенного в резонатор, на измеряемые электрические параметры. Распространение электромагнитных волн в открытом пространстве. Формирование и прием электромагнитных волн диапазона СВЧ с помощью рупорной антенны. Отражение электромагнитных волн от различных объектов. Влияние параметров материала образца на отражение электромагнитных волн.
8	Заключение	Необходимость измерения параметров материалов для применения их в устройствах диапазона СВЧ. Зависимость взаимодействия электромагнитных волн СВЧ с веществом от измеренных параметров в широком диапазоне длин волн. Влияние параметров материалов на поглощение и отражение электромагнитных волн СВЧ диапазона.

### 1.3. Направление, виды воспитательной деятельности и используемые технологии

Направления воспитательной деятельности сопрягаются со всеми результатами обучения компетенций по образовательной программе, их освоение обеспечивается содержанием всех дисциплин модулей.

1.4. Программа дисциплины реализуется на государственном языке Российской Федерации .

## 2. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### Измерение СВЧ параметров материалов

#### Электронные ресурсы (издания)

1. Баскаков, С. И.; Основы электродинамики; Советское радио, Москва; 1973; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=492378> (Электронное издание)
2. Никольский, В. В.; Электродинамика и распространение радиоволн; Наука, Москва; 1973; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=477370> (Электронное издание)
3. Гринев, А. Ю.; Основы электродинамики с Matlab : учебное пособие.; Логос, Москва; 2016; <http://www.iprbookshop.ru/70701.html> (Электронное издание)
4. Дьяконов, В. П.; MATLAB 6.5 SP1/7/7 SP1/7 SP2 + Simulink 5/6. Инструменты искусственного интеллекта и биоинформатики : практическое пособие.; СОЛОН-ПРЕСС, Москва; 2009; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=117721> (Электронное издание)

#### Печатные издания

1. Петров, Б. М.; Электродинамика и распространение радиоволн : учеб. для студентов вузов, обучающихся по направлению "Радиотехника" и специальностям "Радиотехника", "Радиофизика и электроника", "Быт. радиоэлектрон. аппаратура".; Горячая линия - Телеком, Москва; 2007 (10 экз.)
2. Хибель, Хибель М., Смольский, С. М., Уте, Уте Ф.; Основы векторного анализа цепей; МЭИ, Москва; 2009 (1 экз.)
3. Лебедев, И. В., Девятков, Н. Д.; Техника и приборы СВЧ : [учебник для вузов по специальности "Электронные приборы"]. Т. 1. Техника сверхвысоких частот; Высшая школа, Москва; 1970 (10 экз.)
4. Лебедев, И. В.; Техника и приборы СВЧ : Учеб. для вузов по спец. "Электронные приборы". Т. 2. Электрорадиотехнические приборы СВЧ; Высш.шк., Москва; 1972 (75 экз.)
5. Гупта, К., Бродецкая, С. Д., Шейнкман, В. Г.; Машинное проектирование СВЧ устройств; Радио и связь, Москва; 1987 (1 экз.)
6. ; Сборник задач по курсу "Электродинамика и распространение радиоволн" : учеб. пособие для радиотехн. специальностей вузов.; Высшая школа, Москва; 1981 (41 экз.)

### **Профессиональные базы данных, информационно-справочные системы**

1. Полнотекстовая БД American Chemical Society (<http://pubs.acs.org/>).
2. Полнотекстовая БД American Institute of Physics (<http://scitation.aip.org/>).
3. Полнотекстовая БД American Physical Society (<https://journals.aps.org/about>).
4. Полнотекстовая БД Annual Reviews Science Collection (<http://www.annualreviews.org>).
5. Полнотекстовая БД Applied Science & Technology Source (<http://search.ebscohost.com>).
6. Полнотекстовая БД eLibrary - научная электронная библиотека (<http://elibrary.ru>).
7. Реферативная БД INSPEC. EBSCO publishing (<http://search.ebscohost.com/>).
8. Полнотекстовая БД Institute of Physics (IOP) (<http://iopscience.iop.org/>).
9. Библиографическая БД Journal Citation Reports (JCR). Web of Science (<http://apps.webofknowledge.com/>).
10. Полнотекстовая БД Nature (<https://www.nature.com/siteindex>).
11. Полнотекстовая БД Optical Society of America (OSA) (<https://www.osapublishing.org/about.cfm>).
12. Полнотекстовая БД Questel Patent (<https://www.orbit.com/>).
13. Полнотекстовая БД Science AAAS (American Association for the Advancement of Science) (<http://www.sciencemag.org/>).
14. Полнотекстовая БД ScienceDirect Freedom Collection (<http://www.sciencedirect.com/>).
15. Реферативная БД Scopus (<http://www.scopus.com/>).
16. Полнотекстовая БД Springer Materials (<https://materials.springer.com/>).
17. Полнотекстовая БД Springer Nature Experiments (<https://experiments.springernature.com/>).
18. Полнотекстовая БД SpringerLink (<https://link.springer.com/>).
19. Реферативная БД Web of Science Core Collection (<http://apps.webofknowledge.com/>).
20. Полнотекстовая БД Wiley Journal Database (<http://onlinelibrary.wiley.com/>).

### **Материалы для лиц с ОВЗ**

Весь контент ЭБС представлен в виде файлов специального формата для воспроизведения синтезатором речи, а также в тестовом виде, пригодном для прочтения с использованием экранной лупы и настройкой контрастности.

### **Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы**

1. Министерство образования и науки Российской Федерации (<http://минобрнауки.рф/>).
2. Федеральный портал «Российское образование» (<http://www.edu.ru/>).
3. ООО Научная электронная библиотека (<http://elibrary.ru/defaultx.asp>).
4. Зональная научная библиотека УрФУ(<http://lib.urfu.ru>).
5. Электронный научный архив УрФУ (<https://elar.urfu.ru>).
6. Официальный сайт Института электрофизики УрО РАН (<http://iep.uran.ru/>).

### **3. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

#### **Измерение СВЧ параметров материалов**

#### **Сведения об оснащённости дисциплины специализированным и лабораторным оборудованием и программным обеспечением**

Таблица 3.1

<b>№ п/п</b>	<b>Виды занятий</b>	<b>Оснащённость специальных помещений и помещений для самостоятельной работы</b>	<b>Перечень лицензионного программного обеспечения</b>
1	Лекции	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная	Office 365 EDUA3 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES  Office 365 EDUA5 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES
2	Лабораторные занятия	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Персональные компьютеры по количеству обучающихся Подключение к сети Интернет Векторные анализаторы цепей	Matlab+Simulink  Office 365 EDUA3 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES  Office 365 EDUA5 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES
3	Самостоятельная работа студентов	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов	Office 365 EDUA3 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES

		Персональные компьютеры по количеству обучающихся Подключение к сети Интернет	Office 365 EDUA5 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES Matlab+Simulink
4	Консультации	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная	<b>Не требуется</b>
5	Текущий контроль и промежуточная аттестация	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя	<b>Не требуется</b>