

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
1159983	Теория и техника измерений в радиоэлектронике

Екатеринбург

<b>Перечень сведений о рабочей программе модуля</b>	<b>Учетные данные</b>
<b>Образовательная программа</b> 1. Инженерия радиоэлектронных средств и систем	<b>Код ОП</b> 1. 11.04.01/33.02
<b>Направление подготовки</b> 1. Радиотехника	<b>Код направления и уровня подготовки</b> 1. 11.04.01

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	Шабунин Сергей Николаевич	д.т.н., доцент	Заведующий кафедрой	радиоэлектроники и телекоммуникаций

**Согласовано:**

Управление образовательных программ

Р.Х. Токарева

# 1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МОДУЛЯ Теория и техника измерений в радиоэлектронике

## 1.1. Аннотация содержания модуля

В модуле «Теория и техника измерений в радиоэлектронике» рассматриваются особенности выполнения измерений параметров сигналов и устройств в радиочастотном диапазоне. Студенты изучают измерительную аппаратуру (спектроанализаторы, измерители параметров электрических цепей, анализаторы сигналов, измерители мощности, в том числе мощности электромагнитного шума) и методику ее использования для корректных измерений. Рассматриваются методы измерения характеристик устройств в диапазоне сверхвысоких частот, в том числе параметров антенн. Полученные навыки актуальны для разработчиков радиотехнических устройств и систем, а также специалистов, эксплуатирующих устройства радиоэлектроники. Практические занятия проводятся на аппаратуре ведущих производителей, таких как Rohde-Schwarz, Keysight Technologies, Tektronix, Anritsu. Антенные измерения проводятся в безэховой камере EMC3 фирмы Rainford.

## 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	Теория и техника измерений в радиоэлектронике	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
Теория и техника измерений в радиоэлектроник	ОПК-3 - Способен планировать и проводить комплексные исследования и	З-2 - Характеризовать возможности исследовательской аппаратуры и методов исследования, используя технические характеристики и области применения

е	<p>изыскания для решения инженерных задач относящихся к профессиональной деятельности, включая проведение измерений, планирование и постановку экспериментов, интерпретацию полученных результатов</p>	<p>З-3 - Сделать обзор основных методов статистической обработки и анализа результатов измерений</p> <p>З-4 - Перечислить основные нормативные документы, регламентирующие оформление научно-технических отчетов и защиту прав интеллектуальной собственности</p> <p>У-2 - Обоснованно выбрать необходимую аппаратуру и метод исследования для решения инженерных задач, относящихся к профессиональной деятельности</p> <p>П-1 - Выполнять в рамках поставленного задания экспериментальные комплексные научно-технические исследования и изыскания для решения инженерных задач в области профессиональной деятельности, включая обработку, интерпретацию и оформление результатов</p> <p>П-2 - Оформить научно-технический отчет, публикацию научных результатов, документы защиты интеллектуальной собственности в соответствии с нормативными требованиями</p> <p>Д-1 - Проявлять умение видеть детали, упорство, аналитические умения</p>
	<p>ОПК-6 - Способен планировать и организовать работы по эксплуатации технологического оборудования и обеспечению технологических процессов в сфере своей профессиональной деятельности с учетом энерго- и ресурсоэффективности производственного цикла и продукта</p>	<p>З-2 - Назвать имеющиеся ограничения режимов эксплуатации оборудования и регламенты технологических процессов</p> <p>З-3 - Объяснить принципы энерго и ресурсосбережения производственного цикла и продукта</p> <p>У-1 - Технически грамотно формулировать задания по эксплуатации технологического оборудования и обеспечению технологических процессов с учетом имеющихся ограничений режимов эксплуатации оборудования и регламенты технологических процессов</p> <p>У-3 - Обоснованно корректировать ход эксплуатации технологического оборудования и реализации технологических процессов, добиваясь повышения уровня энерго и</p>

		<p>ресурсосбережения производственного цикла и продукта</p> <p>П-2 - Предлагать и аргументированно доказывать целесообразность корректировок параметров эксплуатации оборудования и реализации технологических процессов для повышения уровня энерго и ресурсосбережения производственного цикла и продукта</p>
	<p>ПК-1 - Способен самостоятельно осуществлять постановку задачи исследования, формировать план его реализации, выбор методов исследования и обработку результатов</p>	<p>З-2 - Изложить новые методы формирования и обработки сигналов и изображений</p> <p>У-2 - Обоснованно выбирать и использовать методику исследования параметров радиоэлектронных систем</p> <p>П-3 - Иметь опыт корректной обработки результатов исследований</p>
	<p>ПК-11 - Способен руководить научно-техническими исследованиями по разработке инновационных радиоэлектронных средств</p>	<p>З-3 - Изложить методы и измерительное оборудование для измерения характеристик радиоэлектронных средств</p> <p>У-5 - Составлять аналитические обзоры и научно-технические отчеты по результатам выполненной работы, оформлять результаты исследований в виде патентов статей, докладов</p> <p>П-3 - Иметь опыт планирования проведения экспериментов и испытаний</p>

### 1.5. Форма обучения

Обучение по дисциплинам модуля может осуществляться в очной формах.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Теория и техника измерений в**  
**радиоэлектронике**

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	Шабунин Сергей Николаевич	д.т.н., доцент	Заведующий кафедрой	радиоэлектроники и телекоммуникаци й

**Рекомендовано учебно-методическим советом института Радиоэлектроники и информационных технологий - РТФ**

Протокол № 11 от 07.11.2021 г.

# 1. СОДЕРЖАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИНЫ

Авторы:

- Шабунин Сергей Николаевич, Заведующий кафедрой, радиоэлектроники и телекоммуникаций

## 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	Виды и особенности измерений в высокочастотной области. Проблемы измерений параметров цепей и сигналов. Калибровка. Точность измерений и ошибки.
2	Измерение параметров элементов радиоэлектроники	Измерение параметров сосредоточенных пассивных элементов. Измерение параметров усилительных элементов. Измерение параметров распределенных элементов.
3	Измерения в нелинейных цепях	Характеристики линейных и нелинейных цепей. Сигналы в электрических цепях. Измерительная аппаратура. Анализаторы спектра. Анализаторы сигнала. Измерение гармонических искажений. Измерение нелинейности коэффициента усиления.  Измерение фазовых искажений. Интермодуляционные искажения и их измерение на СВЧ. Нелинейные эффекты микроволновых цепей во временной области.
4	Измерение мощности в диапазоне ВЧ и СВЧ	Мощность ВЧ и СВЧ и ее измерение. Применение термисторов, термопар, детектирующих диодов. Применение направленных ответвителей. Измерительная аппаратура.
5	Измерение коэффициентов отражения и передачи	Для чего нужно знать амплитуды и фазы волн Измерительная аппаратура. Калибровочные стандарты. Измерение коэффициентов отражения. Измерение коэффициентов передачи.

		Особенности измерения коэффициентов передачи усилительных устройств.
6	Измерение мощности шума	Тепловые шумы. Соотношение сигнал/шум. Коэффициент шума. Шумовая температура. Амплитудные и фазовые шумы. Методика измерения мощности шумов устройств. Шумы каскадно соединенных цепей. Измерители шумов.
7	Измерение параметров антенн	Параметры антенн. Передающие и приемные антенны. Принцип взаимности. Дальняя зона антенны. Измерение диаграмм направленности. Измерение коэффициента усиления антенн. Безэховые камеры. Измерение поляризационных диаграмм. Измерение импедансных характеристик антенн. Измерительная аппаратура.

### 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

### Теория и техника измерений в радиоэлектронике

#### Электронные ресурсы (издания)

1. Астайкин, , А. И., Астайкин, , А. И.; Метрология и радиоизмерения : учебное пособие.; Российский федеральный ядерный центр – ВНИИЭФ, Саров; 2010; <http://www.iprbookshop.ru/18440.html> (Электронное издание)
2. , Мительман, , Ю. Е.; Расчет и измерение характеристик устройств СВЧ и антенн : учебное пособие.; Уральский федеральный университет, ЭБС АСВ, Екатеринбург; 2016; <http://www.iprbookshop.ru/65981.html> (Электронное издание)

#### Печатные издания

1. Шабунин, С. Н., Шабунин, С. Н.; Измерение параметров антенн : учебно-методическое пособие для студентов, обучающихся по направлениям 210400 - Радиотехника, 210700 - Инфокоммуникационные технологии и системы связи, 210601 - Радиоэлектронные системы и комплексы.; Издательство Уральского университета, Екатеринбург; 2014 (10 экз.)
2. , Мительман, Ю. Е.; Антенны и устройства (СВЧ): расчет и измерение характеристик : учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки бакалавриата "Радиотехника" и специалитета "Радиоэлектронные системы и комплексы", в УрФО.; Юрайт, Москва; 2017 (6 экз.)
3. Аминев, А. В., Блохин, А. В.; Измерения в телекоммуникационных системах : учебное пособие для студентов, обучающихся по специальности 090106 - Информационная безопасность телекоммуникационных систем.; Издательство Уральского университета, Екатеринбург; 2015 (12 экз.)

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



Контрольно-измерительные решения для программно-определяемых радиосистем (SDR) (Указания по применению) [https://scdn.rohde-schwarz.com/ur/pws/dl\\_downloads/dl\\_common\\_library/dl\\_brochures\\_and\\_datasheets/pdf\\_1/RSRU\\_034.pdf](https://scdn.rohde-schwarz.com/ur/pws/dl_downloads/dl_common_library/dl_brochures_and_datasheets/pdf_1/RSRU_034.pdf)

Видео по применению анализаторов спектра и сигналов (rohde-schwarz) [https://www.rohde-schwarz.com/ru/knowledge-center/videos/application-video-list\\_234382.html](https://www.rohde-schwarz.com/ru/knowledge-center/videos/application-video-list_234382.html)

Измерение параметров усилителей высокой мощности с использованием нелинейных векторных анализаторов цепей <https://www.keysight.com/ru/ru/assets/7018-02382/application-notes/5990-5039.pdf>

Что такое следящий генератор в анализаторе спектра <https://www.youtube.com/watchv=J33ZN0Gxc8w>

Мы только-только распаковали анализатор цепей и что теперь делать [https://www.youtube.com/watchv=I58No\\_0QXsk](https://www.youtube.com/watchv=I58No_0QXsk)

Анализ спектра и сигналов: современный подход, тенденции и перспективы развития. Часть 1. <https://www.youtube.com/watchv=GfYqGwpbQes>

Модуляция и формирование сигналов с помощью генераторов сигналов компании R&S Обучающие материалы [https://scdn.rohde-schwarz.com/ur/pws/dl\\_downloads/dl\\_application/application\\_notes/1ma225/1MA225\\_1rus\\_Modulation\\_Signal\\_Generation.pdf](https://scdn.rohde-schwarz.com/ur/pws/dl_downloads/dl_application/application_notes/1ma225/1MA225_1rus_Modulation_Signal_Generation.pdf)

### **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.

Видео Применение анализаторов спектра и сигналов (rohde-schwarz) [https://www.rohde-schwarz.com/ru/knowledge-center/videos/application-video-list\\_234382.html](https://www.rohde-schwarz.com/ru/knowledge-center/videos/application-video-list_234382.html)

Видео Измерение параметров усилителей высокой мощности с использованием нелинейных векторных анализаторов цепей <https://www.keysight.com/ru/ru/assets/7018-02382/application-notes/5990-5039.pdf>

Видео Что такое следящий генератор в анализаторе спектра <https://www.youtube.com/watchv=J33ZN0Gxc8w>

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

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

### **Теория и техника измерений в радиоэлектронике**

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

Таблица 3.1

№ п/п	Виды занятий	Оснащённость специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения
-------	--------------	---	---

1	Лекции	<p>Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов</p> <p>Рабочее место преподавателя</p> <p>Доска аудиторная</p> <p>Периферийное устройство</p> <p>Оборудование, соответствующее требованиям организации учебного процесса в соответствии с санитарными правилами и нормами</p> <p>Подключение к сети Интернет</p>	<p>Office 365 EDUA3 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES</p> <p>Matlab R2015a + Simulink</p>
2	Лабораторные занятия	<p>Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов</p> <p>Рабочее место преподавателя</p> <p>Доска аудиторная</p> <p>Персональные компьютеры по количеству обучающихся</p> <p>Оборудование, соответствующее требованиям организации учебного процесса в соответствии с санитарными правилами и нормами</p> <p>Подключение к сети Интернет</p>	<p>Office 365 EDUA1 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr Student EES</p> <p>Matlab R2015a + Simulink</p>