



МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

«МИРЭА — Российский технологический университет»

**РТУ МИРЭА**

---

---

**УТВЕРЖДАЮ**  
Первый проректор

\_\_\_\_\_ Н.И. Прокопов  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 202\_\_ г.

## **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

### **2.1.2 «Радиоинформационные технологии цифровой лаборатории»**

Научная специальность

#### **2.2.15 «Системы, сети и устройства телекоммуникаций»**

Форма обучения

**Очная**

Москва 2025

### **1. Цели освоения дисциплины**

Целями освоения дисциплины «Радиоинформационные технологии цифровой лаборатории» являются:

1. Освоение радиоинформационных технологий, приборов, программно-аппаратных платформ и станций для проведения экспериментальных исследований и разработок в области радиоэлектроники, связи, СВЧ-техники, радиолокации, навигации и радиофизики на базе современных информационно-измерительных средств цифровой лаборатории.

2. Изучение принципов построения информационно-измерительных систем, цифровых приборов и виртуальных радиоприложений, адаптированных под конкретные экспериментальные задачи генерации, передачи, регистрации, преобразования, цифровой обработки и анализа радиосигналов; создания VST-плагинов и продвинутого интерактивного управления пользовательскими радиоинтерфейсами информационно-измерительных систем, цифровых приборов, станций и комплексов.

3. Изучение методов векторного формирования, генерации, модуляции и передачи тестовых IQ/ARB-ВЧ/СВЧ-сигналов, их регистрации, частотно-временной визуализации и цифрового векторного представления. Освоение аудиовизуальных технологий частотно-временного анализа, инженерно-научных методов проведения автоматизированных радиоизмерений и постобработки экспериментальных данных, форматной записи, LAN-трансляции цифрового потока данных и загрузка экспериментальных выборок в радиоприложения реального времени.

4. Освоение методов проведения векторного анализа S-параметров линейных и нелинейных ВЧ/СВЧ узлов, микрополосковых и твердотельных модулей, ИМС и дискретной ЭКБ; векторного измерения характеристик антенн, ФАР/АФАР, в том числе для решения задач SPICE-прототипирования.

### **2. Место дисциплины в структуре программы аспирантуры**

Дисциплина «Радиоинформационные технологии цифровой лаборатории» является обязательной дисциплиной образовательного компонента блока «Дисциплины (модули)» учебного плана научной специальности 2.2.15 «Системы, сети и устройства телекоммуникаций».

### **3. Требования к результатам освоения дисциплины «Радиоинформационные технологии цифровой лаборатории»**

В ходе освоения дисциплины «Радиоинформационные технологии цифровой лаборатории» идет дальнейшее формирование элементов (знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности) аспиранта:

способность к самостоятельному обучению новым методам исследования,

способность к пониманию основных проблем в своей предметной области, выбору методов и средств их решения;

способность самостоятельно приобретать и использовать в практической деятельности новые знания и умения, в том числе в новых областях знаний, непосредственно не связанных со сферой своих исследований;

способность анализировать состояние научно-технической проблемы, систематизировать и обобщать научно-техническую информацию по теме исследований;

способность оценивать научную значимость и перспективы прикладного использования результатов исследований.

В результате освоения дисциплины аспирант должен:

Знать:

современные радиоинформационные технологии, приборы, станции и программно-аппаратные платформы для проведения экспериментальных исследований и разработок в области радиоэлектроники, связи, СВЧ-техники, радиолокации, навигации и радиофизики на базе современных информационно-измерительных средств цифровой лаборатории; пользовательские типовые радиоинтерфейсы цифровых станций и приборов на продвинутом уровне.

Уметь:

создавать VST-плагины и радиоинтерфейсы для программно-аппаратных информационно-измерительных приборов, станций и комплексов на специализированном программном обеспечении; выстраивать информационно-измерительную систему под конкретные экспериментальные задачи генерации, модуляции, передачи, регистрации, преобразования, цифровой обработки и анализа радиосигналов.

Владеть:

практическими методами формирования векторных IQ/ARB- и аналоговых ВЧ/СВЧ-сигналов; аудиовизуальными технологиями частотно-временного представления сигналов; практическими решениями проведения автоматизированных радиоизмерений и постобработки экспериментальных данных; методами записи, LAN-трансляции цифрового потока данных и загрузкой экспериментальных выборок в радиоприложения реального времени; методами проведения векторных измерений S-параметров линейных и нелинейных ВЧ/СВЧ узлов, микрополосковых и твердотельных модулей, ИМС и дискретной ЭКБ, характеристик антенн, ФАР/АФАР, в том числе для решения задач SPICE-прототипирования.

#### **4. Содержание дисциплины**

Общая трудоемкость дисциплины «Радиоинформационные технологии цифровой лаборатории» составляет 3 зачетных единицы (108 акад. часов).

**4.1. Распределение объема дисциплины по разделам (темам), семестрам, видам учебной работы и формам контроля.**

№ раздела	Семестр	Неделя семестра	Объем (в акад. час.)							Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра)  Формы промежуточной аттестации (по семестрам)	
			Всего	Контактная работа (по видам учебных занятий)				СР	Контроль		
				Всего	ЛК	ПР	СР под рук.				
1	2	1	4	2	2			2		Устное собеседование	
1	2	2	6	2		2		2	2	Выполнение практических заданий	
1	2	3	4	2	2			2		Устное собеседование	
1	2	4	6	2		2		2	2	Выполнение практических заданий	
2	2	5	4	2	2			2		Устное собеседование	
2	2	6	6	2		2		2	2	Выполнение практических заданий	
2	2	7	4	2	2			2		Устное собеседование	
2	2	8	6	2		2		2	2	Выполнение практических заданий	
3	2	9	4	2	2			2		Устное собеседование	
3	2	10	8	2		2		2	4	Выполнение практических заданий	
3	2	11	4	2	2			2		Устное собеседование	
3	2	12	8	2		2		2	4	Выполнение практических заданий	
3	2	13	4	2	2			2		Устное собеседование	
3	2	14	8	2		2		2	4	Выполнение практических заданий	
4	2	15	4	2	2			2		Устное собеседование	
4	2	16	8	2		2		2	4	Выполнение практических заданий	
4	2	17	4	2	2			2		Устное собеседование	
4	2	18	8	2		2		2	4	Выполнение практических заданий	
По материалам курса			8						8	Экзамен	
Всего в 4 семестре:			108	36	18	18	0	36	36		
Всего:			108	36	18	18	0	36	36		

**4.2. Наименование и содержание разделов дисциплины**

Номер темы	Наименование темы	Содержание темы
1.	Программно-аппаратное	Векторная генерация IQ-сигналов. Синфазная и

Номер темы	Наименование темы	Содержание темы
	формирование и генерация векторных IQ-сигналов	<p>квадратурная составляющие сигнала. Комплексная огибающая сигнала. Принципы квадратурной модуляции ВЧ/СВЧ-сигналов. I/Q смеситель и его характеристики. Полоса пропускания I/Q-модулятора. ARB-генерация сигналов. Двоичные форматы файлов, используемый в генераторах сигналов произвольной формы. Векторный формат расширения *.vv. Векторный видеоформат расширения *.trp.</p> <p>Функциональная/структурная схема и устройство векторного ARB-генератора. Классификация и радиофункционал векторных генераторов. Векторные виды цифровой модуляции радио- и видеосигналов: ASK, FSK, PSK, ASK/PSK, QPSK, QAM. Векторные измерительные генераторы тестовых сигналов и их характеристики.</p> <p>Внутрисистемная генерация сигналов для всех основных цифровых стандартов радиосвязи с использованием дополнительного источника модулирующих сигналов. Архитектура физических и цифровых радиоинтерфейсов векторных генераторов.</p> <p>Программное описание и формирование ARB-сигналов в среде ARB Toolbox PLUS R&amp;S и Simulink. Частота дискретизации, динамическое разрешение, фазовые шумы и шумы квантования векторных генераторов. Методы исследования, анализа и тестирования радиосистем беспроводной передачи данных. Использование векторного генератора в качестве лабораторного программно-определяемого формирователя и передатчика цифровых телевизионных, радиолокационных, навигационных и телеметрических сигналов реального времени, в том числе для исследования антенных систем и распространения радиоволн в различных средах.</p> <p>Измерение и преобразование IQ-сигналов с помощью ПО IQWizard.</p> <p>Подключение векторных генераторов к виртуальной информационно-измерительной станции на ПК через USB и Ethernet интерфейсы.</p>
2.	Цифровые технологии частотно-временных измерений	Частотно-временные измерения и регистрация параметров радиосигналов в ВЧ и СВЧ

Номер темы	Наименование темы	Содержание темы
	параметров радиосигналов	<p>диапазоне.</p> <p>Функциональная/структурная схема и программно-аппаратная среда цифрового осциллографа. Аналоговые и цифровые каналы осциллографа. АЦП осциллографа и его характеристики. Частота дискретизации. Полоса пропускания. Децимация сигнала. Функциональные интерфейсы цифровых осциллографов. Программно-численные режимы обработки радиоизмерений. Входные каскады осциллографа. Сигнальная осциллографическая развертка. ХУ-измерения. Многоканальные радиоизмерения. БПФ-преобразование. Осциллографы реального времени. Осциллографы эквивалентного времени. Стробоскопические осциллографы. Аналоговые и цифровые пробники СВЧ-осциллографов. Режимы запуска и методы цифровой синхронизации цифровых осциллографов. Цифровая аттенюация входных каскадов.</p> <p>Использование цифрового осциллографа в качестве лабораторного программно-определяемого приемника цифровых телевизионных, радиолокационных, навигационных и телеметрических сигналов реального времени, в том числе для исследования антенных систем и распространения радиоволн в различных средах. Запись и сохранение временной выборки.</p> <p>Подключение осциллографа к виртуальной информационно-измерительной станции на ПК через USB и Ethernet интерфейсы.</p> <p>Функциональная/структурная схема и устройство цифрового анализатора спектра. Параметры анализатора спектра: диапазон рабочих частот, полоса обзора, скорость и время анализа, средний отображаемый уровень шумов, динамический диапазон, точка компрессии, фазовый шум, интермодуляционные искажения, уровень паразитных спектральных компонент, полоса единичного анализа, разрешение по частоте. Понятие частотной выборки. Аналоговые и цифровые пробники СВЧ-анализаторов. Частотные радиоизмерения радиосигналов с аналоговой и цифровой модуляцией (сигналы</p>

Номер темы	Наименование темы	Содержание темы
		<p>WiFi, Bluetooth, GSM, GPS и т.д.) посредством цифровых анализаторов спектра в режиме реального времени. Измерения мощности в кагале при помощи анализатора спектра. Составление цифровых спектральных масок в задачах контроля паразитных излучений и радиомониторинга. Измерение параметров модуляционных сигналов.</p> <p>Использование цифрового анализатора спектра качестве лабораторного программно-определяемого приемника цифровых телевизионных, радиолокационных, навигационных и телеметрических сигналов в режиме реального времени, в том числе для исследования антенных систем и распространения радиоволн в различных средах. Запись и сохранение спектральной выборки в файл.</p> <p>Форматы записи сигнальных временных и частотных выборок (двоичный, *.xml, *.csv, *.grx), протоколы их трансляции в режиме рольного времени. Автоматическое растровое и векторное формирование отчетов и протоколов электронных измерений в формате *.html и *.pdf.</p> <p>Подключение цифрового анализатора к виртуальной информационно-измерительной станции на ПК через USB и Ethernet интерфейсы. Организация обмена цифровыми данными между анализатором и ПК через программу R&amp;S FSH4View по LAN-интерфейсу. Особенности FTP-соединения информационно-измерительных средств с ПК.</p>
3.	Цифровые технологии векторного анализа радиоэлектронных систем и устройств	<p>Классификация и принципы построения векторных анализаторов цепей. Структура и радиотехнические характеристики векторного анализатора цепей. Матрица рассеяния многополюсников. Волновые величины и S-параметры радиоэлектронных устройств. Сигнально-параметрические возможности векторного анализа цепей. Особенности измерения S-параметров.</p> <p>Особенности построения тестовой измерительной установки. Радиофизическое непостоянство волн в диэлектриках и линиях с частотной дисперсией. Коррекция дисперсионных искажений. Направленность и отражение радиосигналов в цепях печатных</p>

Номер темы	Наименование темы	Содержание темы
		<p>модулей. Основные компоненты измерительных схем векторного анализа СВЧ цепей. Практическая реализация направляющих элементов измерительных установок векторных анализаторов. Мостовые схемы и направленные ответвители. Ступенчатые аттенюаторы в канале приема и генерации тестовых сигналов. Генерация тестовых сигналов. Опорный и измерительный приемники. Процедура векторных радиоизмерений S-параметров. Установочные параметры векторного анализатора. Точность цифровых измерений и калибровка приборов. Методы компенсации случайных ошибок цифровых измерений. Коррекция систематических ошибок измерения. Верификация, линейные модели ошибок и техника калибровки векторного анализатора. Т-контроль и анализ неопределенности измерения. Выполнение ТОМ-калибровки. Выполнение TNA-калибровки. Автоматическая калибровка ВАЦ. Скалярные и векторные измерения. Линейные измерения. Измерительные задачи векторного анализа. Измеряемые внутрисхемные параметры СВЧ устройств. Измерительные задачи анализа СВЧ цепей. Анализ линейных пассивных устройств. Анализ нелинейных устройств. Анализ частотно-избирательных ШП и СШП устройств. Анализ во временной области. Сравнительный анализ параметров и характеристик СВЧ устройств. Измерение характеристик антенн и ФАР/АФАР, СВЧ-модулей, микросборок и ИМС и дискретной ЭКБ. Особенности измерений и анализа цепей в КВЧ-диапазоне.</p> <p>Цифровые измерение модулей и узлов радиоэлектронных устройств. Режимы векторных лабораторных измерений. Измерение коэффициента отражения и КСВ. Связь коэффициента отражения в линии с коэффициентом стоячей волны по напряжению (КСВН), входным импедансом линии, коэффициентом отражения нагрузки. Измерение импедансно-частотных характеристик. Круговая диаграмма Вольперта-Смита (ПС/ПП). Измерение коэффициента передачи. Измерение группового запаздывания.</p>



Номер темы	Наименование темы	Содержание темы
		<p>Измерение фазового запаздывания и автоматической длины. Измерение характеристик устойчивости. Измерение с использованием виртуальных цепей. Embedding-технологии. Измерение с удалением виртуальных цепей. Измерение S-параметров симметричных линий. Измерение перекрестных помех на ближнем и дальнем концах СВЧ-линий. Анализ радиоэлектронных модулей и устройств, в том числе фильтров, с симметричным и несимметричным портами. Измерение времени переключения и эффектов дрейфа. Измерения усилителей, работающих в импульсном режиме.</p> <p>Векторные измерения и сигнально-параметрический анализ линейных цепей во временной области. Импульсная и ступенчатая характеристики. Рефлектометрия во временной области. Использование опций измерений во временной области. Полосно-пропускающий режим. Оконная обработка, ОПФ и опции спектрального анализа.</p> <p>Таблицы и измерительные диаграммы. Импульсные и ступенчатые отклики коэффициентов отражения. Сравнение оконных функций в частотной и временной области.</p> <p>Измерение расстояния до повреждения. Измерения ПАВ фильтра во временной области. ВЧ отображение для неразрушающей оценки. Измерение комплексных эффективных системных данных.</p> <p>Нелинейные измерения. Возможности, используемые для нелинейных измерений. Калибровка мощности приемника и генератора тестовых сигналов. Измерение точки компрессии. Измерение характеристики детектора. Модель гармонических искажений. Интермодуляция и интермодуляционные искажения. Усилитель мощности с внешней тестовой установкой. Измерение горячих S-параметров. Дифференциальные измерения. Измерения усилителей и смесителей СВЧ-конверторов. Сигналы и параметры смесителей. Особенности измерения смесителей.</p> <p>Расширение диапазона частот. Измерения антенных устройств. Основные измеряемые S-</p>

Номер темы	Наименование темы	Содержание темы
		параметры антенн.
4.	Информационно-измерительные системы и виртуальные радиоприложения	<p>Схемно-архитектурное построение информационно-измерительных систем в среде визуально-графического программирования LabVIEW, Simulink и GNU Radio.</p> <p>Разработка специализированных радиоприложений для приема, передачи и обработки сигналов в режиме реального времени.</p> <p>Программно-аппаратный комплекс анализа и верификации сигнальных характеристик физических блоков и модулей в составе цифровой модели (цифрового двойника) радиоэлектронных систем и устройств.</p> <p>Мультисигнальные радиоинтерфейсы.</p> <p>Отладочные USB/BNC-платы на ПЛИС для архитектурного прототипирования многофункциональных узлов сигнальных радиоинтерфейсов ввода-вывода.</p> <p>SDR-технологии цифровой лаборатории.</p> <p>Реализация архитектурных решений SDR-систем в среде Simulink на базе библиотеки RTL-SDR Support from Communications Toolbox.</p> <p>Программно-численное моделирование радиоэлектронных систем, устройств и радиоволновых процессов в материальных средах. Создание VST-плагинов средств цифровой обработки и преобразования сигналов в среде Simulink.</p>

### 4.3. Лабораторные работы (ЛБ)

Учебным планом не предусмотрены.

### 4.4. Практические занятия (ПР)

№ п/п	Номер темы дисциплины	Тематика практических занятий	Трудоемкость (в акад. часах)
1	1	Внутрисистемная генерация тестовых сигналов для основных цифровых стандартов беспроводной медиасвязи. Программное описание и формирование ARB-сигналов в среде ARB Toolbox PLUS R&S и Simulink. Продвинутое изучение пользовательского интерфейса режимов работы векторного генератора R&S SMBV100B.	4
2	2	Аудиовизуальные технологии частотно-временного анализа радиосигналов. Запись, трансляция IQ-потoka и сохранение выборки радиосигнальных данных	4

		цифрового осциллографа и анализатора спектра в информационно-измерительное радиоприложение. Продвинутое изучение пользовательского интерфейса и режимов работы осциллографа R&S RTO2032 и анализатора спектра R&S FSH13.	
3	3	Векторный анализ S-параметров пассивных и нелинейных ВЧ-устройств и модулей СВЧ. Анализ S-параметров антенных измерительных систем. Продвинутое изучение пользовательского интерфейса и режимов работы векторного анализатора цепей R&S ZNLE.	6
4	4	Автоматизация цифровых радиоизмерений и постобработка экспериментальных данных. Схемно-архитектурное построение информационно-измерительных систем в среде LabVIEW, Simulink. SDR-технологии цифровой лаборатории.	4
<b>Всего:</b>			<b>18</b>

## 5. Учебно-методическое обеспечение для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

Виды самостоятельной работы обучающегося, порядок и сроки ее выполнения:

подготовка к лекциям и практическим занятиям с использованием конспекта лекций, материалов практических занятий и приведенных ниже (п 8.1 и 8.2) источников (в соответствии с расписанием занятий);

оформление отчетов по выполненным практическим заданиям и теоретическая подготовка к их сдаче (в соответствии с расписанием занятий).

Перечень вопросов для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации — в соответствии с тематикой дисциплины.

## 6. Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

**6.1. Описание показателей и критериев оценивания знаний, умений и владений на различных этапах их формирования, описание шкал оценивая**

### 6.1.1. Показатели и критерии оценивания, используемые шкалы оценивания

Показатели оценивания	Критерии оценивания	Средства оценивания	Шкалы оценивания
Умение	Правильность выполнения учебных заданий, аргументированность выводов	<i>Текущий контроль:</i> выполнение устных/письменных заданий, тестирование  <i>Промежуточная аттестация:</i> экзамен	Шкала 1
Знание	Правильность и полнота ответов, глубина	<i>Текущий контроль:</i> выполнение устных/письменных	Шкала 1

Показатели оценивания	Критерии оценивания	Средства оценивания	Шкалы оценивания
	понимания вопроса	заданий, тестирование <i>Промежуточная аттестация:</i> экзамен	
<b>Владение</b>	Обоснованность и аргументированность выполнения учебной деятельности	<i>Текущий контроль:</i> выполнение практического задания, тестирование <i>Промежуточная аттестация:</i> экзамен	Шкала 2

### 6.1.2. Описание шкал оценивания степени сформированности знаний, умений и владений

#### **Шкала 1.** Оценка сформированности знаний, умений и владений

Обозначения		Формулировка требований к степени сформированности знаний, умений и владений		
Цифр.	Оценка	Знать	Уметь	Владеть
1	Неудовлетворительно	Отсутствие знаний	Отсутствие умений	Отсутствие навыков
2	Неудовлетворительно	Фрагментарные знания	Частично освоенное умение	Фрагментарное применение
3	Удовлетворительно	Общие, но не структурированные знания	В целом успешное, но не систематически осуществляемое умение	В целом успешное, но не систематическое применение
4	Хорошо	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания	В целом успешное, но содержащие отдельные пробелы умение	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение навыков
5	Отлично	Сформированные систематические знания	Сформированное умение	Успешное и систематическое применение навыков

#### **Шкала 2.** Комплексная оценка сформированности знаний, умений и владений

Обозначения		Формулировка требований к степени сформированности знаний, умений и владений
Цифр.	Оценка	
1	Неудовлетворительно	Не имеет необходимых представлений о проверяемом

Обозначения		Формулировка требований к степени сформированности знаний, умений и владений
Цифр.	Оценка	
		материале
2	Удовлетворительно или неудовлетворительно (по усмотрению преподавателя)	Знать на уровне <b>ориентирования</b> , представлений. Субъект учения знает основные признаки или термины изучаемого элемента содержания, их отнесенность к определенной науке, отрасли или объектам, узнает их в текстах, изображениях или схемах и знает, к каким источникам нужно обращаться для более детального его усвоения
3	Удовлетворительно	Знать и уметь на <b>репродуктивном</b> уровне. Субъект учения знает изученный элемент содержания репродуктивно: произвольно воспроизводит свои знания устно, письменно или в демонстрируемых действиях
4	Хорошо	Знать, уметь, владеть на <b>аналитическом</b> уровне. Зная на репродуктивном уровне, указывать на особенности и взаимосвязи изученных объектов, на их достоинства, ограничения, историю и перспективы развития и особенности для разных объектов усвоения
5	Отлично	Знать, уметь, владеть на <b>системном</b> уровне. Субъект учения знает изученный элемент содержания системно, произвольно и доказательно воспроизводит свои знания устно, письменно или в демонстрируемых действиях, учитывая и указывая связи и зависимости между этим элементом и другими элементами содержания учебной дисциплины, его значимость в содержании учебной дисциплины

**6.2. Типовые контрольные задания или иные материалы**, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования знаний, умений и владений в процессе освоения образовательной программы.

**Типовые вопросы и задания для текущего контроля** (оценка сформированности элементов (знаний, умений, навыков) в рамках текущего контроля по дисциплине) по разделам дисциплины

**Примеры вопросов по теме 1:**

1. Векторная генерация IQ-сигналов. Синфазная и квадратурная составляющие сигнала. Комплексная огибающая сигнала. Принципы квадратурной модуляции ВЧ/СВЧ-сигналов. I/Q смеситель и его характеристики. Полоса пропускания I/Q-модулятора.

2. ARB-генерация сигналов. Функциональная/структурная схема и устройство векторного ARB-генератора. Двоичные форматы файлов, используемый в генераторах сигналов произвольной формы. Векторный формат расширения \*.wv. Векторный видеоформат расширения \*.trp.

3. Использование векторного генератора в качестве лабораторного

программно-определяемого формирователя и передатчика цифровых телевизионных, радиолокационных, навигационных и телеметрических сигналов реального времени, в том числе для исследования антенных систем и распространения радиоволн в различных средах.

***Пример практического задания по теме 1:***

По заданному варианту сгенерировать цифровой модулирующий векторный ARB-сигнал формата \*.wav в среде ARB Toolbox PLUS R&S. Произвести выгрузку и сгенерировать IQ-сигнал в режиме реального времени по FTP-соединению на векторном генераторе R&S SMBV100B. Получить частотно-временное представление сигнала на цифровом осциллографе R&S RTO2032 и анализаторе спектра R&S FSH13, а также диаграмму сигнального созвездия для выбранных типов цифровой манипуляции ВЧ-сигнала на R&S ZNLE.

***Примеры вопросов по теме 2:***

1. Частотно-временные измерения и регистрация параметров радиосигналов в ВЧ и СВЧ диапазоне.

2. Цифровые осциллографы реального времени. Осциллографы эквивалентного времени. Стробоскопические осциллографы. Аналоговые и цифровые пробники СВЧ-осциллографов. Режимы запуска и методы цифровой синхронизации цифровых осциллографов. Цифровая аттенюация входных каскадов.

3. Использование цифрового осциллографа и анализатора спектра в качестве лабораторного программно-определяемого приемника цифровых телевизионных, радиолокационных, навигационных и телеметрических сигналов реального времени, в том числе для исследования антенных систем и распространения радиоволн в различных средах. Запись и сохранение временной и частотной выборки в файл. Форматы записи сигнальных временных и частотных выборок, протоколы их трансляции в режиме реального времени.

***Пример практического задания по теме 2:***

По заданному варианту сгенерировать цифровой GPS-сигнал формата \*.wav и видеосигнал формата \*.trp в среде Simulink. Произвести выгрузку и сгенерировать IQ-сигналы в режиме реального времени по FTP-соединению на векторном генераторе R&S SMBV100B. Для обоих случаев сигналов в отдельности при заданных ОСШ 6 и 12 дБ получить частотно-временное представление сигнала на цифровом осциллографе R&S RTO2032 и анализаторе спектра R&S FSH13. Видеосигнал с векторного генератора транслировать в режиме стандарта DVB-T2. Провести запись в файл и трансляцию частотной выборки сигналов в форматах \*.gpx и \*.csv через программу R&S FSH4View по LAN-интерфейсу, соответственно.

***Примеры вопросов по теме 3:***

1. Скалярные и векторные измерения радиоэлектронных узлов и модулей. Линейные измерения. Измерительные задачи векторного анализа. Измеряемые внутрисхемные параметры СВЧ устройств. Измерительные задачи анализа СВЧ цепей. Анализ линейных пассивных устройств. Анализ нелинейных

устройств.

2. Анализ частотно-избирательных ШП и СШП устройств на ВАЦ. Анализ во временной области. Сравнительный анализ параметров и характеристик СВЧ устройств.

3. Векторные измерения характеристик антенн и ФАР/АФАР, СВЧ-модулей, микросборок и ИМС и дискретной ЭКБ. Особенности измерений и анализа цепей в КВЧ-диапазоне.

***Пример практического задания по теме 3:***

При помощи векторного анализатора цепей R&S ZNLE выполнить анализ S-параметров микрополоскового ППФ и ВЧ-смесителя, а также анализ S-параметров WiFi-антенны. Построить передаточные векторно-частотные характеристики и соответствующие матрицы рассеяния анализируемых устройств в заданной полосе рабочих частот.

***Примеры вопросов по теме 4:***

1. Схемно-архитектурное построение информационно-измерительных систем в среде визуально-графического программирования LabVIEW, Simulink и GNU Radio.

2. Программно-аппаратный комплекс анализа и верификации сигнальных характеристик физических блоков и модулей в составе цифровой модели (цифрового двойника) радиоэлектронных систем и устройств. Мультиязычные радиоинтерфейсы. Отладочные USB/BNC-платы на ПЛИС для архитектурного прототипирования многофункциональных узлов сигнальных радиоинтерфейсов ввода-вывода.

3. SDR-технологии цифровой лаборатории. Реализация архитектурных решений SDR-систем в среде Simulink на базе библиотеки RTL-SDR Support from Communications Toolbox. Аппаратная архитектура RTL-SDR тюнера RTL2832U + R820T2.

***Пример практического задания по теме 4:***

На базе программных решений визуально-графической разработки радиоинтерфейсов LabVIEW/Simulink/GNURadio построить цифровую платформу сбора и постобработки экспериментальной выборки информационно-измерительных данных радиомониторинга реального времени по FTP-соединению. В качестве лабораторных средств аппаратного формирования тестовых сигналов использовать генератор R&S SMBV100B, в качестве средств аппаратного приема — осциллограф R&S RTO2032, анализатора спектра R&S FSH13 и RTL2832U-тюнер.

**Перечень вопросов для подготовки к экзамену** (оценка сформированности элементов (знаний, умений, навыков) в рамках промежуточной аттестации по дисциплине).

1. Радиоинформационные стенды, платформы и технологии проведения экспериментальных исследований в области радиоэлектроники, связи, СВЧ-техники, радиолокации, навигации и радиофизики. Информационно-

измерительные системы и виртуальные радиоприложения.

2. Векторная генерация IQ-сигналов. Синфазная и квадратурная составляющие сигнала. Комплексная огибающая сигнала. Принципы квадратурной модуляции ВЧ/СВЧ-сигналов. I/Q смеситель и его характеристики. Полоса пропускания I/Q-модулятора.

3. ARB-генерация сигналов. Функциональная/структурная схема и устройство векторного ARB-генератора. Двоичные форматы файлов, используемый в генераторах сигналов произвольной формы. Векторный формат расширения \*.wv. Векторный видеоформат расширения \*.trp.

4. Классификация и радиофункционал векторных генераторов. Векторные виды цифровой модуляции радио- и видеосигналов: ASK, FSK, PSK, ASK/PSK, QPSK, QAM. Векторные измерительные генераторы тестовых сигналов и их характеристики.

5. Внутрисистемная генерация сигналов для всех основных цифровых стандартов радиосвязи с использованием дополнительного источника модулирующих сигналов. Архитектура физических и цифровых радиоинтерфейсов векторных генераторов.

6. Программное описание и формирование ARB-сигналов в среде ARB Toolbox PLUS R&S и Simulink. Частота дискретизации, динамическое разрешение, фазовые шумы и шумы квантования векторных генераторов.

7. Методы исследования, анализа и тестирования радиосистем беспроводной передачи данных.

8. Использование векторного генератора в качестве лабораторного программно-определяемого формирователя и передатчика цифровых телевизионных, радиолокационных, навигационных и телеметрических сигналов реального времени, в том числе для исследования антенных систем и распространения радиоволн в различных средах.

9. Измерение и преобразование IQ-сигналов с помощью ПО IQWizard.

10. Подключение векторных генераторов к виртуальной информационно-измерительной станции на ПК через USB и Ethernet интерфейсы.

11. Частотно-временные измерения и регистрация параметров радиосигналов в ВЧ и СВЧ диапазоне.

12. Функциональная/структурная схема и программно-аппаратная среда цифрового осциллографа. Аналоговые и цифровые каналы осциллографа. АЦП осциллографа и его характеристики. Частота дискретизации. Полоса пропускания. Децимация сигнала. Функциональные интерфейсы цифровых осциллографов.

13. Программно-численные режимы обработки радиоизмерений. Входные каскады осциллографа. Сигнальная осциллографическая развертка. XY-измерения. Многоканальные радиоизмерения. БПФ-преобразование.

14. Цифровые осциллографы реального времени. Осциллографы эквивалентного времени. Стробоскопические осциллографы. Аналоговые и



цифровые пробники СВЧ-осциллографов. Режимы запуска и методы цифровой синхронизации цифровых осциллографов. Цифровая аттенюация входных каскадов.

15. Использование цифрового осциллографа в качестве лабораторного программно-определяемого приемника цифровых телевизионных, радиолокационных, навигационных и телеметрических сигналов реального времени, в том числе для исследования антенных систем и распространения радиоволн в различных средах. Запись и сохранение временной выборки в файл.

16. Подключение осциллографа к виртуальной информационно-измерительной станции на ПК через USB и Ethernet интерфейсы.

17. Функциональная/структурная схема и устройство цифрового анализатора спектра. Параметры анализатора спектра: диапазон рабочих частот, полоса обзора, скорость и время анализа, средний отображаемый уровень шумов, динамический диапазон, точка компрессии, фазовый шум, интермодуляционные искажения, уровень паразитных спектральных компонент, полоса единичного анализа, разрешение по частоте. Понятие частотной выборки.

18. Частотные радиоизмерения радиосигналов с аналоговой и цифровой модуляцией (сигналы WiFi, Bluetooth, GSM, GPS и т.д.) посредством цифровых анализаторов спектра в режиме реального времени. Измерения мощности в кагале при помощи анализатора спектра. Составление цифровых спектральных масок в задачах контроля паразитных излучений и радиомониторинга. Измерение параметров модуляционных сигналов.

19. Использование цифрового анализатора спектра качестве лабораторного программно-определяемого приемника цифровых телевизионных, радиолокационных, навигационных и телеметрических сигналов в режиме реального времени, в том числе для исследования антенных систем и распространения радиоволн в различных средах. Запись и сохранение спектральной выборки в файл.

20. Подключение цифрового анализатора к виртуальной информационно-измерительной станции на ПК через USB и Ethernet интерфейсы. Организация обмена цифровыми данными между анализатором и ПК через программу R&S FSH4View по LAN-интерфейсу.

21. Интерактивные радиоинтерфейсы. Особенности FTP-соединения информационно-измерительных средств с ПК.

22. Классификация и принципы построения векторных анализаторов цепей. Структура и радиотехнические характеристики векторного анализатора цепей.

23. Матрица рассеяния многополюсников. Волновые величины и S-параметры радиоэлектронных устройств. Сигнально-параметрические возможности векторного анализа цепей. Особенности измерения S-параметров.

24. Основные компоненты измерительных схем векторного анализа СВЧ цепей. Особенности построения тестовой измерительной установки. Радиофизическое непостоянство волн в диэлектриках и линиях с частотной

дисперсией. Коррекция дисперсионных искажений. Направленность и отражение радиосигналов в цепях печатных модулей.

25. Практическая реализация направляющих элементов измерительных установок векторных анализаторов. Мостовые схемы и направленные ответвители. Ступенчатые аттенюаторы в канале приема и генерации тестовых сигналов.

26. Генерация тестовых сигналов ВАЦ. Опорный и измерительный приемники. Процедура векторных радиоизмерений S-параметров. Установочные параметры векторного анализатора. Точность цифровых измерений и калибровка приборов. Методы компенсации случайных ошибок цифровых измерений. Коррекция систематических ошибок измерения.

27. Верификация, линейные модели ошибок и техника калибровки векторного анализатора. Т-контроль и анализ неопределенности измерения. Выполнение ТОМ-калибровки. Выполнение TNA-калибровки. Автоматическая калибровка ВАЦ.

28. Скалярные и векторные измерения радиоэлектронных узлов и модулей. Линейные измерения. Измерительные задачи векторного анализа. Измеряемые внутрисхемные параметры СВЧ устройств. Измерительные задачи анализа СВЧ цепей. Анализ линейных пассивных устройств. Анализ нелинейных устройств.

29. Анализ частотно-избирательных ШП и СШП устройств на ВАЦ. Анализ во временной области. Сравнительный анализ параметров и характеристик СВЧ устройств.

30. Векторные измерения характеристик антенн и ФАР/АФАР, СВЧ-модулей, микросборок и ИМС и дискретной ЭКБ. Особенности измерений и анализа цепей в КВЧ-диапазоне.

31. Цифровые измерение модулей и узлов радиоэлектронных устройств. Режимы векторных лабораторных измерений. Измерение коэффициента отражения и КСВ. Связь коэффициента отражения в линии с коэффициентом стоячей волны по напряжению (КСВН), входным импедансом линии, коэффициентом отражения нагрузки. Измерение импедансно-частотных характеристик. Круговая диаграмма Вольперта-Смита (ПС/ПП).

32. Векторные измерение передаточных коэффициентов. Измерение группового запаздывания. Измерение фазового запаздывания и автоматической длины. Измерение характеристик устойчивости. Измерение с использованием виртуальных цепей. Embedding-технологии.

33. Векторные измерения с удалением виртуальных цепей. Измерение S-параметров симметричных линий. Измерение перекрестных помех на ближнем и дальнем концах СВЧ-линий. Анализ радиоэлектронных модулей и устройств, в том числе фильтров, с симметричным и несимметричным портами. Измерение времени переключения и эффектов дрейфа. Измерения усилителей, работающих в импульсном режиме.

34. Векторные измерения и сигнально-параметрический анализ

линейных цепей во временной области. Импульсная и ступенчатая характеристики. Рефлектометрия во временной области. Использование опций измерений во временной области. Полосно-пропускающий режим. Оконная обработка, ОПФ и опции спектрального анализа.

35. Таблицы и измерительные диаграммы ВАЦ. Импульсные и ступенчатые отклики коэффициентов отражения. Сравнение оконных функций в частотной и временной области.

36. Измерение электрического расстояния до аппаратного повреждения на ВАЦ. Измерения ПАВ фильтра во временной области. ВЧ отображение для неразрушающей оценки. Измерение комплексных эффективных системных данных.

37. Нелинейные измерения на ВАЦ. Возможности, используемые для нелинейных измерений. Калибровка мощности приемника и генератора тестовых сигналов. Измерение точки компрессии. Измерение характеристики детектора. Модель гармонических искажений. Интермодуляция и интермодуляционные искажения. Анализ усилителя мощности с внешней тестовой установкой.

38. Векторные измерения «горячих» S-параметров. Дифференциальные измерения.

39. Векторные измерения усилителей и смесителей СВЧ-конверторов. Сигналы и параметры смесителей. Особенности измерения смесителей.

40. Расширение диапазона частот ВАЦ. Измерения антенных устройств. Основные измеряемые S-параметры антенн.

41. Проведение векторных измерений радиоэлектронных компонентов и модулей при создании и разработки SPICE-моделей. Цифровые двойники в научно-практических исследованиях и прототипировании радиоэлектронных средств.

42. Схемно-архитектурное построение информационно-измерительных систем в среде визуально-графического программирования LabVIEW, Simulink и GNU Radio.

43. Разработка специализированных радиоприложений для приема, передачи и обработки сигналов в режиме реального времени в среде LabVIEW.

44. Программно-аппаратный комплекс анализа и верификации сигнальных характеристик физических блоков и модулей в составе цифровой модели (цифрового двойника) радиоэлектронных систем и устройств. Мультиязычные радиоинтерфейсы. Отладочные USB/BNC-платы на ПЛИС для архитектурного прототипирования многофункциональных узлов сигнальных радиоинтерфейсов ввода-вывода.

45. SDR-технологии цифровой лаборатории. Реализация архитектурных решений SDR-систем в среде Simulink на базе библиотеки RTL-SDR Support from Communications Toolbox. Аппаратная архитектура RTL-SDR тюнера RTL2832U + R820T2.

46. Программно-численное моделирование радиоэлектронных систем, устройств и радиоволновых процессов в радиоприложениях Altair Feko и AWR.

47. Автоматическое растровое и векторное формирование отчетов и протоколов электронных измерений в формате \*.html и \*.pdf.

### 6.3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности.

Процедуры и средства оценивания элементов знаний, умений и владений по дисциплине «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения»

Процедура проведения	Средство оценивания				
	Текущий контроль				Промежуточный контроль
	Выполнение устных заданий	Выполнение письменных заданий	Выполнение практических заданий	Выполнение тестовых заданий	Экзамен
Продолжительность контроля	По усмотрению преподавателя	По усмотрению преподавателя	По усмотрению преподавателя	По усмотрению преподавателя	В соответствии с принятыми нормами времени
Форма проведения контроля	Устный опрос	Письменный опрос	Письменный опрос	Письменный опрос	В письменной форме
Вид проверочного задания	Устные вопросы	Письменные задания	Практические задания	Письменный опрос	Экзаменационный билет
Форма отчета	Устные ответы	Ответы в письменной форме	Ответы в письменной форме	Ответы в письменной форме	Ответы в письменной форме
Раздаточный материал	Нет	Справочная литература	Справочная литература	Справочная литература	Справочная литература

## 7. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Дисциплина «Радиоинформационные технологии цифровой лаборатории» предусматривает лекции и практические занятия. Успешное изучение дисциплины требует посещения лекций, активной работы на практических занятиях, выполнения учебных заданий преподавателя, ознакомления с основной и дополнительной литературой.

В ходе лекций преподаватель излагает и разъясняет основные, наиболее сложные понятия темы, а также связанные с ней теоретические и практические проблемы, дает рекомендации на практическое занятие и указания на самостоятельную работу.

При подготовке к лекционным занятиям аспирантам необходимо: перед очередной лекцией необходимо просмотреть конспект материала предыдущей лекции. При затруднениях в восприятии материала следует обратиться к основным литературным источникам. Если разобраться в материале опять не удалось, то обратитесь к лектору (по графику его консультаций) или к преподавателю на практических занятиях.

Практические занятия завершают изучение наиболее важных тем учебной дисциплины. Они служат для закрепления изученного материала, развития умений и навыков подготовки докладов, сообщений, приобретения опыта устных публичных выступлений, ведения дискуссии, аргументации и защиты

выдвигаемых положений, а также для контроля преподавателем степени подготовленности аспирантов по изучаемой дисциплине.

При подготовке к практическому занятию аспиранты имеют возможность воспользоваться консультациями преподавателя.

При подготовке к практическим занятиям аспирантам необходимо: приносить с собой рекомендованную преподавателем литературу к конкретному занятию;

до очередного практического занятия по рекомендованным литературным источникам проработать теоретический материал, соответствующей темы занятия;

в начале занятий задать преподавателю вопросы по материалу, вызвавшему затруднения в его понимании и освоении при решении задач, заданных для самостоятельного решения;

в ходе семинара давать конкретные, четкие ответы по существу вопросов; на занятии доводить каждую задачу до окончательного решения, демонстрировать понимание проведенных расчетов (анализов, ситуаций), в случае затруднений обращаться к преподавателю.

Аспирантам, пропустившим занятия (независимо от причин), не имеющие письменного решения задач или не подготовившиеся к данному практическому занятию, рекомендуется не позже чем в 2-недельный срок явиться на консультацию к преподавателю и отчитаться по теме, изучавшейся на занятии. Аспиранты, не отчитавшиеся по каждой не проработанной ими на занятиях теме к началу экзаменационной сессии не допускаются к экзамену.

## **8. Ресурсное обеспечение дисциплины**

### **8.1. Основная и дополнительная учебная литература, необходимая для освоения дисциплины**

#### **а) основная литература:**

1. Афонский А.А., Дьяконов В.П. Измерительные приборы и массовые электронные измерения. — М.: Солон-Пресс, 2019. — 541 с.
2. Костин М.С., Бойков К.А. Радиоволновые технологии субнаносекундного разрешения: монография / М. С. Костин, К. А. Бойков. — М.: РТУ МИРЭА, 2021. — 142 с.
3. Костин М.С., Ярлыков А.Д. Архитектурно-конфигурируемые SDR-технологии радиомониторинга и телеметрии: учебное пособие / М.С. Костин, А.Д. Ярлыков. — М.; Вологда: Инфра-Инженерия, 2021. — 144 с.
4. Костин М.С., Ярлыков А.Д. Устройства и модули сверхвысоких частот / М.С. Костин, А.Д. Ярлыков. — М.; Вологда: Инфра-Инженерия, 2022. — 397 с.
5. Фокин Г.А. Технологии программно-конфигурируемого радио: учебное пособие для вузов. — М.: Горячая линия — Телеком, 2019. — 316 с.
6. Шаров Г.А. Статистическая метрология / Г.А. Шаров. — М.: Горячая линия — Телеком, 2021 . — 664 с.

7. Юрий Е.М. Антенны и устройства СВЧ: расчет и измерение характеристик. — М.: Юрайт, 2022. — 138 с.

8. Щепетов А.Г. и др. Преобразование измерительных сигналов: учебник и практикум для вузов / под редакцией А.Г. Щепетова. — М.: Юрайт, 2020. — 270 с.

**б) дополнительная литература:**

9. Гринева А.Ю. Широкополосные и сверхширокополосные сигналы и системы. — М.: Радиотехника, 2009. — 168 с.

10. Каганов В.И., Битюков В.К. Основы радиоэлектроники и связи: Учеб. пособие для вузов / В.И. Каганов, В.К. Битюков. — М.: Горячая линия-Телеком, 2012. — 542 с.

11. Айфичер Э.С., Джервис Б.У. Цифровая обработка сигналов: практический подход. — М.: Вильямс, 2018. — 992 с.

12. Хибель М. Основы векторного анализа цепей / Михаэль Хибель; пер. с англ. С.М. Смольского под ред. Д.М. Сазонова и У. Филипп. — М.: Издательский дом МЭИ, 2018. — 501 с.

13. Литвин С.М., Попов О.Б., Чернышева Т.В. Аудиопроцессорная обработка сигналов звукового вещания: учебное пособие для вузов / С.М. Литвин, О.Б. Попов, Т.В. Чернышева. — М.: Горячая линия — Телеком, 2017. — 222 с.

14. Попов О.Б. Компьютерный практикум по цифровой обработке аудиосигналов: учебное пособие для вузов / О.Б. Попов. — М.: Горячая линия — Телеком, 2010. — 176 с.

15. Радзиевский В.Г., Трифонов П.А. Обработка сверхширокополосных сигналов и помех. — М.: Радиотехника, 2009. — 288 с.

16. Радзиевский В.Г., Трифонов П.А. Обработка сверхширокополосных сигналов и помех. — М.: Радиотехника, 2009. — 288 с.

17. Ратхор, Т.С. Цифровые измерения. АЦП / ЦАП. — М.: Техносфера, 2006. — 392 с.

18. Рихтер С.Г. Цифровое радиовещание / С.Г. Рихтер. — М.: Горячая линия — Телеком, 2015. — 352 с.

19. Рубичев Н.А. Измерительные информационные системы. — М.: Дрофа, 2010. — 336 с.

20. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов / А.Б. Сергиенко. — СПб.: БХВ-Петербург, 2011. — 756 с.

21. Симонов П.И., Кубанков Ю.А. Компьютерные методы измерений параметров телекоммуникационных средств: стандарты и подходы: учебное пособие для вузов. — М.: Горячая линия — Телеком, 2018. — 106 с.

22. Тихонов Б. Н., Ходжаев И. А. Метрология и электрорадиоизмерения в телекоммуникационных системах / Под общей ред. Б. Н. Тихонова. — М.: Горячая линия — Телеком, 2017. — 398 с.

23. Банков С.Е., Грибанов А.Н., Курушин А.А. Электродинамическое моделирование антенных и СВЧ структур с использованием FEKO. — М.:

Солон-Пресс, 2017. — 412 с.

24. Бахвалова С.А., Романюк В.А. Основы моделирования и проектирования радиотехнических устройств в Microwave Office. — М.: Солон-Пресс, 2016. — 152 с.

25. Бессонов А.С. LABVIEW. Практикум по основам измерительных технологий. — М.: ДМК Пресс, 2009. — 232 с.

26. Богуш В.А. и др. Векторные анализаторы цепей сантиметрового и миллиметрового диапазонов длин волн. — М.: Горячая линия — Телеком, 2019. — 656 с.

27. Бутырин П.А. и др. Автоматизация физических исследований и эксперимента: компьютерные измерения и виртуальные приборы на основе LabVIEW 7. — М.: ДМК Пресс, 2009. — 265 с.

28. Данилин А.А. Измерения в технике СВЧ. — М.: Радиотехника, 2008. — 184 с.

29. Дьяконов В.П. Matlab и Simulink для радиоинженеров. — М.: ДМК Пресс, 2011. — 976 с.

30. Загидуллин Р.Ш. Multisim, LabVIEW и Signal Express. Практика автоматизированного проектирования электронных устройств. — М.: Горячая линия — Телеком, 2009. — 366 с.

31. Кестер У. Аналого-цифровое преобразование / Уолт Кестер. — М.: Техносфера, 2008. — 1016 с.

32. Костин М.С. Субнаносекундные сигналы и технологии: учебное пособие / М. С. Костин. — М.: МИРЭА, 2018. — 110 с.

33. Ковалгин Ю.А. Цифровое радиовещание: системы и технологии / Ю.А. Ковалгин. М.: Горячая линия — Телеком, 2021. — 580 с.

34. Ковалгин Ю.А., Вологдин Э.И. Аудиотехника: учебник для вузов / Ю.А. Ковалгин, Э.И. Вологдин. — М.: Горячая линия — Телеком, 2013. — 742 с.

35. Мощенский Ю.В. Теоретические основы радиотехники. Сигналы. — М.: Лань, 2018. — 216 с.

36. Нефедов В.И., А.С. Сигов Основы радиоэлектроники и связи: учеб. пособие для вузов / В.И. Нефедов, А.С. Сигов. — М.: Высш. шк., 2009. — 735 с.

37. Сизых В.В., Шахтарин Б.И. Случайные процессы в радиотехнике и автоматике. — М.: Горячая линия-Телеком, 2020. — 285 с.

38. Sana Salous. Radio Propagation Measurement and Channel Modelling. — USA.: WILEY, 2013. — 424 p.

## **8.2. Ресурсы информационно-телекоммуникационной сети Интернет, необходимые для освоения дисциплины**

1. <http://library.mirea.ru/>

Научно-техническая библиотека РТУ МИРЭА

2. <https://e.lanbook.com/>

Электронно-библиотечная системы (ЭБС) Издательства «Лань»

3. <https://passport.rsl.ru/>

Российская государственная библиотека  
4. Информационный портал R&S  
<https://www.rohde-schwarz.com/>

**8.3. Информационные технологии,** используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем:

- пакет офисных программ Microsoft Office;
- пакет электродинамического моделирования Altair FEKO;
- интегрированная платформа разработки, анализа и моделирования ВЧ/СВЧ-устройств AWR Design Environment;
- программная среда для разработки виртуальных информационно-измерительных систем приборов LabVIEW;
- программная среда визуально-графического моделирования Simulink;
- пакет прикладных программ инженерно-научных расчетов и численного моделирования Scilab;
- пакет программно-архитектурного визуального-графического проектирования SDR-систем GNU Radio;
- специализированы пакет загрузки файлов IQ-сигналов IQWizard R&S;
- специализированный пакет формирования IQ-сигналов ARB Toolbox PLUS R&S;
- специализированное программное обеспечение для цифрового анализатора FSH4View.

**8.4. Материально-техническая база,** необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине

- учебная аудитория;
- учебно-научные лаборатории кафедры радиоволновых процессов и технологий Института радиоэлектроники и информатики: «Радиоволновых технологий», «Разработки и эксплуатации РЭС», «Радиоволновых процессов и модулей СВЧ», «Сигнальной радиоакустики, аудиовизуальных систем и технологий», «Радиомониторинга и телеметрии», УНЦ «TESLA».