СПбГЭТУ «ЛЭТИ»
ПЕРВЫЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования

«Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет

«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)»

(СПбГЭТУ «ЛЭТИ»)

УТВЕРЖДАЮ

Директор департамента образования

_____ М. С. Куприянов

«____»_____ 2019 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины

«ИЗМЕРЕНИЯ НА СВЕРХВЫСОКИХ ЧАСТОТАХ»

для подготовки специалистов

по специальности

11.05.01 «Радиоэлектронные системы и комплексы»

по специализации

«Микроволновые, цифровые и оптические устройства радиоэлектронных систем»

Санкт-Петербург

2019

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Разработчик
доцент каф. ТОР, к.т.н, доцент А. А. Данилин

Рецензент
к.т.н, проф. Ю. Д. Ульяницкий

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ТОР 03.06.2019 г., протокол № 5.
Зав. каф. ТОР
д.т.н., проф. В. Н. Ушаков

Рабочая программа рассмотрена и одобрена учебно-методической комиссией факультета ФРТ 13.06.2019 г., протокол № 3.
Председатель УМК ФРТ
к.т.н., доцент И. Р. Кузнецов

Согласовано:

Начальник ОМОЛА
к.т.н., доц. С.А. Галунин

1 СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

№№ учебных планов:	812-19
Обеспечивающий факультет	ФРТ
Обеспечивающая кафедра:	ТОР
Общая трудоемкость (ЗЕТ)	5
Курс	4
Семестр	8

Виды занятий

Лекции (академ. часов)	34
Лабораторные занятия (академ. часов)	17
Практические занятия (академ. часов)	17
Все аудиторные занятия (академ. часов)	68
Иная контактная работа (академ. часов)	1
Все контактные часы (академ. часов)	69
Самостоятельная работа, включая часы на контроль (академ. часов)	111
Всего (академ. часов)	180

Вид промежуточной аттестации

Дифференцированный зачет (семестр)	8

2 АННОТАЦИЯ ДИСЦИПЛИНЫ «ИЗМЕРЕНИЯ НА СВЕРХВЫСОКИХ ЧАСТОТАХ»

Измерения на СВЧ — дисциплина, посвященная изучению принципов построения современных радиоизмерительных средств диапазона СВЧ: приборов, измерительных систем, измерительно-вычислительных комплексов. Среди разделов дисциплины: особенности измерений на высоких и сверхвысоких частотах, измерение параметров микроволновых устройств методом разделения волн. автоматизация измерений на СВЧ, измерение параметров СВЧ устройств на фиксированных частотах, измерительные генераторы СВЧ, измерение параметров СВЧ радиосигналов (частоты, анализ спектра, мощность непрерывных и импульсных сигналов).

Наряду с практическими занятиями предусмотрены лабораторные работы, ставящие целью привить студентам практические навыки проведения наиболее часто встречающихся видов измерений в технике СВЧ.

SUBJECT SUMMARY «MICROWAVE MEASUREMENTS»

Microwave measurements — discipline devoted to the study of the principles of modern microwave test equipment, measuring instruments, systems and complexes. Among the topics discipline: features measurements at high and ultra high frequencies, the measurement of parameters of microwave devices by the method of separation of waves, automation of measurements at the microwave range , measurement of parameters of microwave devices on fixed frequencies, measuring the microwave generators, measurement of parameters of microwave radio signals (frequency, spectrum analysis, power of continuous and pulse signals).

3 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

3.1 Цели и задачи дисциплины

1. Изучение основных методов и средств радиоизмерений на СВЧ, алгоритмов обработки результатов, направлений автоматизаций СВЧ измерений.

2. Формирование навыков и умений проведения сложных измерений параметров и характеристик радиотехнических сигналов и устройств СВЧ.

3. Освоение методик современных СВЧ радиоизмерений, расширение и пополнение базы знаний по основам радиоизмерительной техники и техники СВЧ.

3.2 Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина изучается на основе ранее освоенных дисциплин учебного плана:

1. «Основы метрологии и радиоизмерений»,

2. «Радиотехнические цепи и сигналы»;

3. «Техническая электродинамика»;

4. «Приборы и техника радиоизмерений»

и обеспечивает изучение последующих дисциплин:

1. «Антенны сверхвысоких частот».

3.3 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

В результате освоения образовательной программы обучающийся должен овладеть следующими результатами обучения по дисциплине:

Код компетенции	Наименование компетенции
ПК-7	Способен к реализации программ экспериментальных исследований, в том числе в режиме удаленного доступа, включая выбор технических средств, обработку результатов и оценку погрешности экспериментальных данных

СПК-1	Способен рассчитывать параметры и характеристики, применять методы компьютерного моделирования и проектирования микроволновых, цифровых и оптических устройств радиоэлектронных систем

В Приложении к рабочей программе дисциплины представлены Фонды оценочных средств проверки степени сформированности компетенций. Фонды оценочных средств предназначены для проверки сформированности компетенций после окончания периода обучения по дисциплине и представляют собой тесты с вариантами ответов.

4 СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

4.1 Содержание разделов дисциплины

Введение (1 академ. час)

Предмет и задачи дисциплины. Структура и содержание дисциплины, ее связь с другими дисциплинами учебного плана. Место дисциплины в общей подготовке радиоинженера.

Тема 1. Особенности измерений на сверхвысоких частотах (16 академ. часов)

Общие методы измерения параметров рассеяния СВЧ устройств. Особенности экспериментального исследования активных СВЧ устройств. Классификация средств измерения в диапазоне СВЧ. Понятие об измерительном тракте СВЧ. Основные типы измерительных трактов. Стандартные элементы измерительных трактов: разъемы, согласователи, нагрузки. Эталоны СВЧ нагрузок, их аттестация. Измерительный тракт при исследовании свойств СВЧ двухполюсников (нагрузок). Измерительный тракт для многополюсных микроволновых устройств. Измерительные преобразователи сигналов и узлы, используемые в измерительных трактах

Тема 2. Измерение параметров СВЧ устройств методом разделения волн (44 академ. часа)

Метод разделения волн. Направленные ответвители и мосты, применяемые в измерениях методом разделения волн.. Погрешности за счет неидеальностей измерительного тракта и его калибровка. Структурные схемы скалярных анализаторов цепей СВЧ – панорамных приборов для измерения КСВ и ослабления. Векторные анализаторы цепей (панорамные приборы для измерения комплексных коэффициентов матрицы рассеяния). Автоматизированные вычислительные анализаторы и их использование в микроволновой технике.

Тема 3. Автоматизация измерений на СВЧ (32 академ. часа)

Метод калибруемого многополюсника и компьютерные измерительные СВЧ устройства. Реализации метода: 4-х зондовый датчик, широкополосная

схема многополюсника, методы их калибровки. Метод калибруемого многополюсника для измерения комплексных коэффициентов передачи. Импульсные методы измерения параметров СВЧ устройств во временной области. Импульсные рефлектометры, их применение для измерения характеристик широкополосных СВЧ приборов.

Тема 4. Измерение параметров СВЧ устройств на фиксированных частотах. (32 академ. часа)

Измерительная линия как образцовый прибор для измерения параметров СВЧ нагрузок. Поляризационные измерители полных сопротивлений нагрузок. Мостовые схемы измерений полных сопротивлений на СВЧ. Методы измерения ослабления. Измерительные аттенюаторы. Измерение фазовых характеристик коэффициентов передачи на СВЧ. Особенности измерений параметров невзаимных устройств СВЧ.

Тема 5. Измерительные генераторы СВЧ (26 академ. часов)

Особенности измерительных генераторов СВЧ как источников эталонных сигналов. Основные типы генераторов СВЧ с механической перестройкой, их метрологические параметры. Принципы построения измерительных генераторов с электронной перестройкой (ГКЧ), их использование в панорамных анализаторах цепей. СВЧ синтезаторы и генераторы с цифровым управлением.

Тема 6. Измерение параметров СВЧ радиосигналов (28 академ. часов)

Измерение мощности СВЧ сигналов. Методы измерения поглощаемой и проходящей мощности СВЧ. Электронно-счетные методы измерения частоты на СВЧ. Резонансные методы измерения частоты на СВЧ. Анализ спектров сигналов в СВЧ диапазоне. Особенности анализаторов спектра СВЧ диапазона.

Заключение (1 академ. час)

Основные тенденции развития радиоизмерительной техники СВЧ диапазона.

4.2 Перечень лабораторных работ

1. Измерение комплексных коэффициентов передачи СВЧ устройств прибором Р4-11 (Р4-23);

2. Измерение параметров ферритовых СВЧ устройств;

3. Автоматический анализатор параметров СВЧ цепей Agilent E5062A;

4. Исследование генератора СВЧ, управляемого напряжением;

5. Исследование балансного СВЧ смесителя;

6. Исследование электрически управляемых СВЧ аттенюаторов на p-i-n диодах;

7. Исследование характеристик микроволновых фильтров;

8. Скалярный измеритель АЧХ СВЧ устройств;

9. Измерение параметров диэлектриков на СВЧ;

10. Измерение параметров транзисторного усилителя СВЧ.

4.3 Перечень практических занятий

1. Измерительные тракты СВЧ.

2. Линии передачи СВЧ, их параметры. Стандартные элементы измерительных трактов.

3. Метод разделения волн и его использование для построения анализаторов цепей СВЧ.

4. Структурные схемы скалярных анализаторов цепей СВЧ – панорамных приборов для измерения КСВ и ослабления.

5. Векторные анализаторы цепей СВЧ и их использование для измерения матрицы рассеяния.

6. Измерительная линия. Поляризационные измерители полных сопротивлений нагрузок.

7. Измерительные генераторы СВЧ.

8. Измерение мощности СВЧ сигналов. Электронно-счетные методы измерения частоты на СВЧ. Анализ спектров сигналов в СВЧ диапазоне.

5 УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1 Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

№	Название, библиографическое описание	Семестр	К-во экз. в библ.
	Основная литература		
1	Данилин А. А. Измерения в технике СВЧ: Учеб. пособие для вузов. — М.: Радиотехника, 2008.	1	80
2	Данилин А. А., Лавренко Н. С. Измерения в радиоэлектронике: Учебное пособие / Под. ред. А. А. Данилина. — СПб.: Изд-во «Лань», 2017. — 408 с.	1	106
3	Микроволновая электроника: учеб. для вузов / А. Д. Григорьев, В. А. Иванов, С. И. Молоковский; под ред. А. Д. Григорьева. — СПб.; М.; Краснодар: Лань, 2016. — 495 с.	1	108
4	Лавренко Ю. Е., Грачев С. В. Устройства СВЧ: конспект лекций.— СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2014.	1	66
5	А. А. Данилин. Измерения на СВЧ: Методические указания по выполнению лабораторных работ. Учебное электронное издание — СПб.: СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2011. — https://lk.etu.ru/dashboard/api/download/2122	1	База ЭОР ЭИОС СПбГЭТУ «ЛЭТИ»
	Дополнительная литература		
1	Сазонов Д. М. и др. Устройства СВЧ. Учеб. пособие. — М.: Высшая школа, 1995.	1	78
2	Максимов В. М. Устройства СВЧ: основы теории и элементы тракта. — М.: Сайнс Пресс, 2002.	1	145
3	Методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Измерения на СВЧ» /сост.: А. А. Данилин, В. Н. Малышев, М. Л. Тылевич — СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 1990.	1	9

5.2 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», используемых при освоении дисциплины

№	Электронный адрес
1	http://www.kepstr.eltech.ru/tor/mt

6 ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Методические материалы; описание шкал оценивания; типовые контрольные задания или иные материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы, представлены в Приложении к рабочей программе дисциплины. Конкретные формы и процедуры текущего контроля знаний и промежуточной аттестации, а также методические указания для обучающихся по самостоятельной работе при освоении дисциплины доводятся до сведения обучающихся в течение первых недель обучения.

7 ОПИСАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ

№	Тип занятий	Тип помещения	Требования к помещению	Требования к программному обеспечению
1	Лекция	Лекционная аудитория	Количество посадочных мест — в соответствии с контингентом, меловая или маркерная доска	
2	Лабораторные работы	Лаборатория	Количество посадочных мест — в соответствии с контингентом, лабораторные стенды — в соответствии с набором лабораторных работ	*1) Windows 7 и выше;* *2) Mathcad, v.14.0.0 и выше;* *3) Microwave Office (AWR Design Environment 10).*
3	Практические занятия	Аудитория	Количество посадочных мест – в соответствии с контингентом, меловая или маркерная доска	

8 МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ СТУДЕНТОВ

Изучение дисциплины сопровождается самостоятельной работой студентов с рекомендованными преподавателем литературными источниками и информационными ресурсами сети Интернет.

Планирование времени для изучения дисциплины осуществляется на весь период обучения, предусматривая при этом регулярное повторение пройденного материала. Обучающимся, в рамках внеаудиторной самостоятельной работы, необходимо регулярно дополнять сведениями из литературных источников материал, законспектированный на лекциях. При этом на основе изучения рекомендованной литературы целесообразно составить конспект основных положений, терминов и определений, необходимых для освоения разделов учебной дисциплины.

Особое место уделяется консультированию, как одной из форм обучения и контроля самостоятельной работы. Консультирование предполагает особым образом организованное взаимодействие между преподавателем и студентами, при этом предполагается, что консультант либо знает готовое решение, которое он может предписать консультируемому, либо он владеет способами деятельности, которые указывают путь решения проблемы.

ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

№	Дата	Изменение	Дата заседания УМК, № прот-ла	Автор	Нач. ОМОЛА