

**Министерство науки и высшего образования РФ**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**«Национальный исследовательский университет «МЭИ»**

---

Направление подготовки/специальность: 11.04.01 Радиотехника

Наименование образовательной программы: Радиотехнические системы

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная

**Рабочая программа дисциплины**  
**УСТРОЙСТВА ГЕНЕРИРОВАНИЯ И ФОРМИРОВАНИЯ СИГНАЛОВ**

Блок:	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
Часть образовательной программы:	Обязательная
№ дисциплины по учебному плану:	Б1.О.07
Трудоемкость в зачетных единицах:	1 семестр - 3;
Часов (всего) по учебному плану:	108 часов
Лекции	1 семестр - 32 часа;
Практические занятия	не предусмотрено учебным планом
Лабораторные работы	не предусмотрено учебным планом
Консультации	проводится в рамках часов аудиторных занятий
Самостоятельная работа	1 семестр - 75,7 часа;
в том числе на КП/КР	не предусмотрено учебным планом
Иная контактная работа	проводится в рамках часов аудиторных занятий
включая:	
Расчетно-графическая работа	
Промежуточная аттестация:	
Зачет с оценкой	1 семестр - 0,3 часа;

**Москва 2023**

**ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:**

Преподаватель

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Плутешко А.В.
	Идентификатор	R73a91500-PluteshkoAV-a18dbd7f

А.В. Плутешко

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель  
образовательной программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Комаров А.А.
	Идентификатор	R8495daf1-KomarovAIA-eada3f0e

А.А. Комаров

Заведующий выпускающей  
кафедрой

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Комаров А.А.
	Идентификатор	R8495daf1-KomarovAIA-eada3f0e

А.А. Комаров

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цель освоения дисциплины:** изучение методов построения устройств генерирования колебаний и формирования радиосигналов, способных работать в широких полосах и удовлетворяющих повышенным требованиям к энергетическим характеристикам этих устройств и спектральным характеристикам формируемых сигналов

### Задачи дисциплины

- освоение основных методов построения и расчёта характеристик широкополосных усилителей мощности, смесителей и устройств в микрополосковом исполнении;
- изучение источников и механизмов возникновения фазовых и амплитудных шумов на выходах устройств генерирования и формирования сигналов (УГФС) и способов построения источников колебаний, удовлетворяющих требованиям к допустимым уровням фазовых шумов.

Формируемые у обучающегося **компетенции** и запланированные **результаты обучения** по дисциплине, соотнесенные с **индикаторами достижения компетенций**:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
ОПК-1 способен представлять современную научную картину мира, выявлять естественнонаучную сущность проблем, определять пути их решения и оценивать эффективность сделанного выбора	ИД-1 <sub>ОПК-1</sub> Представляет современную научную картину мира, выявляет естественнонаучную сущность проблемы проектирования, производства и использования в практической деятельности радиоэлектронных устройств и систем	знать: - методы расчёта параметров и характеристик схем УГФС; - методы построения схем УГФС.  уметь: - выбирать схемы и выполнять расчёты параметров и режимов широкополосных устройств СВЧ.
ОПК-2 способен применять современные методы исследования, представлять и аргументировано защищать результаты выполненной работы	ИД-1 <sub>ОПК-2</sub> Применяет современные методы научного исследования и разработки радиотехнических устройств и систем	знать: - источники, методы оценки и снижения уровней фазовых шумов на выходах УГФС, механизмы их влияния на формируемые сигналы.  уметь: - выполнять количественные оценки уровней фазовых шумов на выходах УГФС с выбранными схемами и решать задачи снижения этих шумов до уровней, допустимых по техническим требованиям.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Радиотехнические системы (далее – ОПОП), направления подготовки 11.04.01 Радиотехника, уровень образования: высшее образование - магистратура.

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать Методы построения схем УГФС

- знать Источники, методы оценки и снижения уровней фазовых шумов на выходах УГФС, механизмы их влияния на формируемые сигналы
- знать методы расчёта параметров и характеристик схем УГФС
- уметь Выбирать схемы и выполнять расчёты параметров и режимов широкополосных устройств СВЧ
- уметь Выполнять количественные оценки уровней фазовых шумов на выходах УГФС с выбранными схемами и решать задачи снижения этих шумов до уровней, допустимых по техническим требованиям

Результаты обучения, полученные при освоении дисциплины, необходимы при выполнении выпускной квалификационной работы.

### 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

#### 3.1 Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единицы, 108 часов.

№ п/п	Разделы/темы дисциплины/формы промежуточной аттестации	Всего часов на раздел	Семестр	Распределение трудоемкости раздела (в часах) по видам учебной работы										Содержание самостоятельной работы/ методические указания
				Контактная работа							СР			
				Лек	Лаб	Пр	Консультация		ИКР		ПА	Работа в семестре	Подготовка к аттестации /контроль	
КПР	ГК	ИККП	ТК											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	Типовые требования к УГФС и их влияние на выбор функциональных схем	14	1	4	-	-	-	-	-	-	-	10	-	<b><u>Подготовка расчетных заданий:</u></b>
1.1	Типовые требования к УГФС и их влияние на выбор функциональных схем	14		4	-	-	-	-	-	-	-	10	-	
2	Широкополосные усилители мощности с полосой до октавы: элементная база, цепи согласования, типовые характеристики	20		6	-	-	-	-	-	-	-	14	-	<b><u>Подготовка расчетных заданий:</u></b> <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], с. 206-234 [2], стр. 233-268 [3], стр. 9-22
2.1	Широкополосные усилители мощности с полосой до октавы: элементная база, цепи согласования, типовые характеристики	20		6	-	-	-	-	-	-	-	14	-	
3	Широкополосные усилители мощности с полосой более октавы: особенности построения цепей согласования,	15		5	-	-	-	-	-	-	-	10	-	<b><u>Подготовка расчетных заданий:</u></b>

	примеры характеристик												
3.1	Широкополосные усилители мощности с полосой более октавы: особенности построения цепей согласования, примеры характеристик	15	5	-	-	-	-	-	-	-	10	-	
4	Пассивные диодные смесители	17	5	-	-	-	-	-	-	-	12	-	<b><u>Подготовка расчетных заданий:</u></b> <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [4], стр. 226-238
4.1	Пассивные диодные смесители	17	5	-	-	-	-	-	-	-	12	-	
5	Шумовые характеристики УГФС. Фазовые и амплитудные шумы, вносимые основными функциональными узлами УГФС. Методы построения малошумящих УГФС	41.7	12	-	-	-	-	-	-	-	29.7	-	<b><u>Подготовка расчетных заданий:</u></b> <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], п. 5.4, 5.5
5.1	Шумовые характеристики УГФС. Фазовые и амплитудные шумы, вносимые основными функциональными узлами УГФС. Методы построения малошумящих УГФС	41.7	12	-	-	-	-	-	-	-	29.7	-	
	Зачет с оценкой	0.3	-	-	-	-	-	-	-	0.3	-	-	
	<b>Всего за семестр</b>	<b>108.0</b>	<b>32</b>	-	-	-	-	-	-	<b>0.3</b>	<b>75.7</b>	-	
	<b>Итого за семестр</b>	<b>108.0</b>	<b>32</b>	-	-	-	-	-	-	<b>0.3</b>	<b>75.7</b>	-	

**Примечание:** Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПП – аудиторные консультации по курсовым проектам/работам; ИККП – индивидуальные консультации по курсовым проектам/работам; ГК- групповые консультации по разделам

дисциплины; СР – самостоятельная работа студента; ИКР – иная контактная работа; ТК – текущий контроль; ПА – промежуточная аттестация

### 3.2 Краткое содержание разделов

#### 1. Типовые требования к УГФС и их влияние на выбор функциональных схем

##### 1.1. Типовые требования к УГФС и их влияние на выбор функциональных схем

Основные характеристики УГФС и показатели качества. Рабочие частоты. Требования к стабильности рабочих частот и полосам перестройки. Требования к энергетическим характеристикам: выходная мощность, коэффициент полезного действия. Виды модуляции. Проблемы построения широкополосных усилителей мощности СВЧ диапазона. Спектральные характеристики формируемых сигналов. Побочные излучения с дискретными и сплошными спектрами. Фазовые шумы УГФС. Требования к допустимым уровням побочных излучений и фазовых шумов. Проблемы построения УГФС СВЧ диапазона с предельно низкими уровнями фазовых шумов.

#### 2. Широкополосные усилители мощности с полосой до октавы: элементная база, цепи согласования, типовые характеристики

2.1. Широкополосные усилители мощности с полосой до октавы: элементная база, цепи согласования, типовые характеристики

Схемотехника микрополосковых (МП) цепей трансформации импедансов, фильтрации, блокировки для широкополосных усилителей мощности. Основные характеристики МП цепей: геометрические характеристики, волновые сопротивления, угловые длины. Конструктивная база (материалы подложек, их основные параметры, рекомендации по выбору). Функциональные схемы широкополосных усилителей мощности СВЧ с полосой до октавы. Особенности использования активных приборов и построения цепей межкаскадной связи.

#### 3. Широкополосные усилители мощности с полосой более октавы: особенности построения цепей согласования, примеры характеристик

3.1. Широкополосные усилители мощности с полосой более октавы: особенности построения цепей согласования, примеры характеристик

Сферы применения и особенности построения широкополосных усилителей мощности с полосой более октавы. Цепи межкаскадного согласования на линейных трансформаторах с ферритовыми магнитопроводами (трансформаторах на длинных линиях). Варианты конструкций трансформаторов на длинных линиях. Основные этапы проектирования широкополосных усилителей мощности с полосой более октавы.

#### 4. Пассивные диодные смесители

##### 4.1. Пассивные диодные смесители

Функциональные схемы пассивных диодных смесителей СВЧ. Основные характеристики. Побочные составляющие.

#### 5. Шумовые характеристики УГФС. Фазовые и амплитудные шумы, вносимые основными функциональными узлами УГФС. Методы построения малошумящих УГФС

5.1. Шумовые характеристики УГФС. Фазовые и амплитудные шумы, вносимые основными функциональными узлами УГФС. Методы построения малошумящих УГФС

Понятие о шумовых характеристиках УГФС. Источники и механизмы влияния собственных шумов компонентов УГФС на шумовые составляющие формируемых сигналов. Фазовые (ФМ) и амплитудные (АМ) шумы функциональных узлов УГФС и их спектральные



характеристики. Спектральные плотности мощности (СПМ) ФМ шумов как один из важных показателей качества автогенераторов и УГФС в целом. Физические источники шумов в функциональных узлах УГФС. Расчёт СПМ ФМ и АМ шумов автогенераторов. Анализ влияния параметров компонентов и режимов на уровни ФМ и АМ шумов автогенераторов и неавтономных каскадов. Шумы многокаскадных УГФС. Методы построения источников колебаний с высокой стабильностью частоты и предельно низкими уровнями ФМ шумов. Методы и средства измерения ФМ шумов АГ и функциональных узлов, определяющих уровни ФМ шумов УГФС.

### **3.3. Темы практических занятий**

не предусмотрено

### **3.4. Темы лабораторных работ**

не предусмотрено

### **3.5 Консультации**

### **3.6 Тематика курсовых проектов/курсовых работ**

Курсовой проект/ работа не предусмотрены

### 3.7. Соответствие разделов дисциплины и формируемых в них компетенций

Запланированные результаты обучения по дисциплине (в соответствии с разделом 1)	Коды индикаторов	Номер раздела дисциплины (в соответствии с п.3.1)					Оценочное средство (тип и наименование)
		1	2	3	4	5	
<b>Знать:</b>							
методы построения схем УГФС	ИД-1 <sub>ОПК-1</sub>	+					Расчетно-графическая работа/s-параметры
методы расчёта параметров и характеристик схем УГФС	ИД-1 <sub>ОПК-1</sub>		+				Расчетно-графическая работа/Выравнивающие цепи
источники, методы оценки и снижения уровней фазовых шумов на выходах УГФС, механизмы их влияния на формируемые сигналы	ИД-1 <sub>ОПК-2</sub>				+		Расчетно-графическая работа/Побочные составляющие в спектре колебания
<b>Уметь:</b>							
выбирать схемы и выполнять расчёты параметров и режимов широкополосных устройств СВЧ	ИД-1 <sub>ОПК-1</sub>			+			Расчетно-графическая работа/Микрополосковые цепи
выполнять количественные оценки уровней фазовых шумов на выходах УГФС с выбранными схемами и решать задачи снижения этих шумов до уровней, допустимых по техническим требованиям	ИД-1 <sub>ОПК-2</sub>					+	Расчетно-графическая работа/Расчёт фазового шума источника колебаний

## **4. КОМПЕТЕНТНОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ)**

### **4.1. Текущий контроль успеваемости**

#### **1 семестр**

Форма реализации: Обмен электронными документами

1. Выравнивающие цепи (Расчетно-графическая работа)
2. Микрополосковые цепи (Расчетно-графическая работа)
3. Побочные составляющие в спектре колебания (Расчетно-графическая работа)
4. Расчёт фазового шума источника колебаний (Расчетно-графическая работа)
5. s-параметры (Расчетно-графическая работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

### **4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине**

Зачет с оценкой (Семестр №1)

В диплом выставляется оценка за 1 семестр.

**Примечание:** Оценочные материалы по дисциплине приведены в фонде оценочных материалов ОПОП.

## **5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **5.1 Печатные и электронные издания:**

1. Сечи Ф., Бужатти М.- "Мощные твердотельные СВЧ-усилители", Издательство: "Техносфера", Москва, 2015 - (416 с.)  
<https://e.lanbook.com/book/87745>;
2. Атабеков Г. И.- "Теоретические основы электротехники. Линейные электрические цепи", (10-е изд., стер.), Издательство: "Лань", Санкт-Петербург, 2021 - (592 с.)  
<https://e.lanbook.com/book/155669>;
3. Коптев, Г. И. Устройства генерирования и формирования сигналов. Модели транзисторов, кварцевые генераторы (расчет и моделирование), макетное конструирование маломощных УКВ-передатчиков : учебное пособие по курсам "Устройства генерирования и формирования сигналов" по направлению "Радиотехника" / Г. И. Коптев, Моск. энерг. ин-т (МЭИ ТУ) . – М. : Издательский дом МЭИ, 2009 . – 116 с. - ISBN 978-5-383-00345-9 .  
<http://elib.mpei.ru/elib/view.php?id=755>;
4. Микроэлектронные устройства СВЧ : учебное пособие для радиотехнических специальностей вузов / Г. И. Веселов, и др. – М. : Высшая школа, 1988 . – 280 с..

### **5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:**

1. СДО "Прометей";
2. Office / Российский пакет офисных программ;
3. Windows / Операционная система семейства Linux;
4. Майнд Видеоконференции;
5. Scilab;
6. GNU Octave.

### 5.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационно-справочные системы:

1. ЭБС Лань - <https://e.lanbook.com/>
2. ЭБС "Университетская библиотека онлайн" - [http://biblioclub.ru/index.php?page=main\\_ub\\_red](http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red)
3. База данных Web of Science - <http://webofscience.com/>
4. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>
5. База данных IEL издательства IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.) - <https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp?reload=true>
6. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>
7. Информационно-справочная система «Кодекс/Техэксперт» - <Http://proinfosoft.ru;>  
<http://docs.cntd.ru/>

### 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
	А-400, Учебная аудитория "А"	парта, стул, доска меловая, экран интерактивный, колонки звуковые, мультимедийный проектор, доска маркерная, компьютер персональный
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
	А-400, Учебная аудитория "А"	парта, стул, доска меловая, экран интерактивный, колонки звуковые, мультимедийный проектор, доска маркерная, компьютер персональный
Помещения для самостоятельной работы	НТБ-303, Компьютерный читальный зал	стол компьютерный, стул, стол письменный, вешалка для одежды, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный, принтер, кондиционер
Помещения для консультирования	Е-705/5, Кабинет сотрудников каф. "ФОРС"	стеллаж для хранения книг, стол, стул, шкаф, шкаф для документов, вешалка для одежды, колонки, техническая аппаратура, кондиционер, книги, учебники, пособия
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	Е-703/7, Кладовая каф. "ФОРС"	стеллаж, стол, стул

## БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

### Устройства генерирования и формирования сигналов

(название дисциплины)

#### 1 семестр

#### Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

- КМ-1 s-параметры (Расчетно-графическая работа)
- КМ-2 Выравнивающие цепи (Расчетно-графическая работа)
- КМ-3 Микрополосковые цепи (Расчетно-графическая работа)
- КМ-4 Побочные составляющие в спектре колебания (Расчетно-графическая работа)
- КМ-5 Расчёт фазового шума источника колебаний (Расчетно-графическая работа)

Вид промежуточной аттестации – Зачет с оценкой.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5
		Неделя КМ:	4	7	10	13	15
1	Типовые требования к УГФС и их влияние на выбор функциональных схем						
1.1	Типовые требования к УГФС и их влияние на выбор функциональных схем		+				
2	Широкополосные усилители мощности с полосой до октавы: элементная база, цепи согласования, типовые характеристики						
2.1	Широкополосные усилители мощности с полосой до октавы: элементная база, цепи согласования, типовые характеристики			+			
3	Широкополосные усилители мощности с полосой более октавы: особенности построения цепей согласования, примеры характеристик						
3.1	Широкополосные усилители мощности с полосой более октавы: особенности построения цепей согласования, примеры характеристик				+		
4	Пассивные диодные смесители						
4.1	Пассивные диодные смесители					+	
5	Шумовые характеристики УГФС. Фазовые и амплитудные шумы, вносимые основными функциональными узлами УГФС. Методы построения малошумящих УГФС						
5.1	Шумовые характеристики УГФС. Фазовые и амплитудные шумы, вносимые основными функциональными узлами УГФС. Методы построения малошумящих УГФС						+
Вес КМ, %:			5	20	20	15	40