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

Направление подготовки/специальность: 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы

Наименование образовательной программы: Радиоэлектронные системы и комплексы

Уровень образования: высшее образование - специалитет

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.34**
Трудоемкость в зачетных единицах:	**7 семестр - 3; 8 семестр - 3; 9 семестр - 3; всего - 9**
Часов (всего) по учебному плану:	**324 часа**
Лекции	**7 семестр - 32 часа; 8 семестр - 32 часа; 9 семестр - 32 часа; всего - 96 часа**
Практические занятия	**7 семестр - 16 часов;**
Лабораторные работы	**7 семестр - 16 часов; 8 семестр - 16 часов; всего - 32 часа**
Консультации	**8 семестр - 2 часа;**
Самостоятельная работа	**7 семестр - 43,7 часа; 8 семестр - 57,5 часа; 9 семестр - 75,7 часа; всего - 176,9 часа**
в том числе на КП/КР	**не предусмотрено учебным планом**
Иная контактная работа	**проводится в рамках часов аудиторных занятий**
включая: Лабораторная работа Расчетно-графическая работа Контрольная работа	
Промежуточная аттестация:	
Зачет с оценкой Экзамен Зачет с оценкой	**7 семестр - 0,3 часа; 8 семестр - 0,5 часа; 9 семестр - 0,3 часа; всего - 1,1 часа**

Москва 2025

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» Сведения о владельце ЦЭП МЭИ Владелец: Сафин А.Р. Идентификатор: Rdaf18b6c-SafinAR-8ed43814	А.Р. Сафин

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель образовательной программы	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» Сведения о владельце ЦЭП МЭИ Владелец: Сизякова А.Ю. Идентификатор: R4eb30863-SiziakovaAY-83831ea7	А.Ю. Сизякова
Заведующий выпускающей кафедрой	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» Сведения о владельце ЦЭП МЭИ Владелец: Куликов Р.С. Идентификатор: R7ef0b374-KulikovRS-e851162c	Р.С. Куликов

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения дисциплины: изучение принципов работы, методов анализа и проектирования устройств генерирования и формирования электромагнитных колебаний радиочастотного диапазона; параметров и характеристик таких устройств; основных технических и конструктивных требований к ним; методов построения устройств, способных работать в широких полосах и удовлетворяющих повышенным требованиям к энергетическим характеристикам этих устройств и спектральным характеристикам формируемых сигналов..

Задачи дисциплины

- изучение принципов работы, методов теоретического и экспериментального исследования устройств генерирования и формирования сигналов (УГФС) радиочастотного диапазона;
- освоение основных технических решений при проектировании устройств формирования радиосигналов;
- 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 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 представить адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики	ИД-З$_{ОПК-1}$ Применяет общеинженерные знания в инженерной деятельности для анализа и проектирования радиоэлектронных устройств и систем	знать: - методику выбора технических средств экспериментального исследования параметров и характеристик изучаемых функциональных узлов устройств формирования радиосигналов. уметь: - применять общеинженерные знания в инженерной деятельности при проектировании функциональных узлов устройств формирования радиосигналов.
ОПК-3 Способен к логическому мышлению, обобщению, прогнозированию, постановке исследовательских задач и выбору путей их достижения, освоению работы на современном измерительном, диагностическом и технологическом оборудовании, используемом для решения различных	ИД-1$_{ОПК-3}$ Знает методы решения задач анализа и расчета характеристик радиоэлектронных систем и устройств с применением современных средств измерения и проектирования	знать: - методы математического моделирования объектов и процессов по типовым методикам. уметь: - выполнять расчеты функциональных узлов и блоков устройств формирования радиосигналов, опираясь на анализ характера поставленной задачи.

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
научно-технических задач в области радиоэлектронной техники и информационно-коммуникационных технологий		
ОПК-4 Способен проводить экспериментальные исследования и владеть основными приемами обработки и представления экспериментальных данных	ИД-1$_{ОПК-4}$ Знает основные методы и средства проведения экспериментальных исследований	знать: - методику выбора технических средств экспериментального исследования параметров и характеристик изучаемых функциональных узлов устройств формирования радиосигналов.
ОПК-4 Способен проводить экспериментальные исследования и владеть основными приемами обработки и представления экспериментальных данных	ИД-2$_{ОПК-4}$ Выбирает способы и средства измерений и проводит экспериментальные исследования	уметь: - проводить экспериментальные исследования характеристик устройств формирования радиосигналов, формулировать выводы о влиянии параметров электрических цепей на экспериментальные данные.
ОПК-4 Способен проводить экспериментальные исследования и владеть основными приемами обработки и представления экспериментальных данных	ИД-3$_{ОПК-4}$ Обрабатывает и представляет полученные экспериментальные данные для получения обоснованных выводов	уметь: - обрабатывать и представлять полученные экспериментальные данные по исследованию характеристик устройств формирования радиосигналов, оценивать погрешности полученных экспериментальных данных.
ОПК-5 Способен выполнять опытно-конструкторские работы с учетом требований нормативных документов в области радиоэлектронной техники и информационно-коммуникационных технологий	ИД-3$_{ОПК-5}$ Формулирует задачи, направленные на проведение исследований, проектирование и использование в практической деятельности радиоэлектронных устройств и систем, определяет пути их решения и оценивает эффективность выбора	знать: - источники, методы оценки и снижения 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 минимальных уровней, допустимых по техническим требованиям.
ОПК-6 Способен	ИД-2$_{ОПК-6}$ Представляет	знать:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
учитывать существующие и перспективные технологии производства радиоэлектронной аппаратуры при выполнении научно-исследовательской и опытно-конструкторских работ	современную научную картину мира, выявляет естественнонаучную сущность проблемы проектирования, производства и использования в практической деятельности радиоэлектронных устройств и систем	- методы построения схем УГФС; - методы расчёта параметров и характеристик схем УГФС. уметь: - выбирать схемы и выполнять расчёты параметров и режимов широкополосных усилителей мощности.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Радиоэлектронные системы и комплексы (далее – ОПОП), направления подготовки 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы, уровень образования: высшее образование - специалитет.

Требования к входным знаниям и умениям:
- знать назначение, классификацию и свойства основных типов радиокомпонентов
- знать базовые понятия теории радиотехнических цепей и сигналов
- знать основы теории цепей СВЧ
- знать основы схемотехники аналоговых и цифровых электронных устройств
- уметь выполнять расчёт узлов простых радиоустройств по известным методикам
- уметь выполнять учебные экспериментальные исследования, включая обработку результатов
- уметь рассчитывать и анализировать характеристики простых радиотехнических цепей
- уметь настраивать и регулировать узлы учебных радиотехнических устройств

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 9 зачетных единиц, 324 часа.

№ 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	Параметры и характеристики активных элементов	6	7	2	-	2	-	-	-	-	-	2	-	***Подготовка к практическим занятиям:*** Изучение материала по разделу "Параметры и характеристики активных элементов" и подготовка к выполнению заданий на практических занятиях ***Самостоятельное изучение теоретического материала:*** Изучение дополнительного материала по разделу "Параметры и характеристики активных элементов"
1.1	Параметры и характеристики активных элементов	6		2	-	2	-	-	-	-	-	2	-	
2	Транзисторные усилители мощности	26		6	4	4	-	-	-	-	-	12	-	***Подготовка расчетно-графического задания:*** В рамках расчетно-графического задания выполняется расчет и построение колебательных и нагрузочных характеристик транзисторного усилителя мощности ***Подготовка к лабораторной работе:*** Подготовка к лабораторной работе "Транзисторные усилители мощности". ***Подготовка к контрольной работе:*** Подготовка к контрольной работе "Транзисторные усилители мощности" ***Подготовка к практическим занятиям:*** Изучение материала по разделу "Транзисторные усилители мощности" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях ***Самостоятельное изучение теоретического материала:*** Изучение
2.1	Транзисторные усилители мощности	26		6	4	4	-	-	-	-	-	12	-	

														дополнительного материала по разделу "Транзисторные усилители мощности"
3	Принципы повышения КПД и ключевые усилители мощности	4		2	-	-	-	-	-	-	-	2	-	***Самостоятельное изучение теоретического материала:*** Изучение дополнительного материала по разделу "Принципы повышения КПД и ключевые усилители мощности"
3.1	Принципы повышения КПД и ключевые усилители мощности	4		2	-	-	-	-	-	-	-	2	-	
4	Амплитудная модуляция	26		6	4	4	-	-	-	-	-	12	-	***Подготовка расчетно-графического задания:*** В рамках расчетно-графического задания выполняется расчет и построение статических модуляционных характеристик при коллекторной и комбинированной модуляции ***Подготовка к лабораторной работе:*** Подготовка к лабораторной работе "Коллекторная и комбинированная модуляция" ***Подготовка к контрольной работе:*** Подготовка к контрольной работе "Амплитудная модуляция" ***Подготовка к практическим занятиям:*** Изучение материала по разделу "Амплитудная модуляция" и подготовка к выполнению заданий на практических занятиях ***Самостоятельное изучение теоретического материала:*** Изучение дополнительного материала по разделу "Амплитудная модуляция"
4.1	Амплитудная модуляция	26		6	4	4	-	-	-	-	-	12	-	
5	Автогенераторы гармонических колебаний	34		12	4	6	-	-	-	-	-	12	-	***Подготовка расчетно-графического задания:*** В рамках расчетно-графического задания выполняется расчет и построение колебательных и нагрузочных характеристик автогенератора ***Подготовка к лабораторной работе:*** Подготовка к лабораторной работе "Режимы
5.1	Автогенераторы гармонических колебаний	34		12	4	6	-	-	-	-	-	12	-	

														автогенератора" ***<u>Подготовка к контрольной работе:</u>*** Подготовка к контрольной работе "Автогенераторы" ***<u>Подготовка к практическим занятиям:</u>*** Изучение материала по разделу "Автогенераторы гармонических колебаний" и подготовка к выполнению заданий на практических занятиях ***<u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u>*** Изучение дополнительного материала по разделу "Автогенераторы гармонических колебаний"
6	Формирование сигналов с угловой модуляцией	11.7		4	4	-	-	-	-	-	-	3.7	-	***<u>Подготовка к лабораторной работе:</u>*** Подготовка к лабораторной работе "Управление частотой автогенератора"
6.1	Формирование сигналов с угловой модуляцией	11.7		4	4	-	-	-	-	-	-	3.7	-	***<u>Подготовка к практическим занятиям:</u>*** Изучение материала по разделу "Формирование сигналов с угловой модуляцией" и подготовка к выполнению заданий на практических занятиях ***<u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u>*** Изучение дополнительного материала по разделу "Формирование сигналов с угловой модуляцией"
	Зачет с оценкой	0.3		-	-	-	-	-	-	-	0.3	-	-	
	Всего за семестр	**108.0**		**32**	**16**	**16**	-	-	-	-	**0.3**	**43.7**	-	
	Итого за семестр	**108.0**		**32**	**16**	**16**	-		-		**0.3**	**43.7**		
7	Формирование опорных колебаний и синтез частот	16	8	6	4	-	-	-	-	-	-	6	-	***<u>Подготовка к лабораторной работе:</u>*** Подготовка к лабораторной работе "Синтезатор частот с частотно-фазовым детектором" ***<u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u>*** Изучение дополнительного материала по разделу "Формирование опорных колебаний и синтез частот"
7.1	Формирование опорных колебаний и синтез частот	16		6	4	-	-	-	-	-	-	6	-	
8	Транзисторные	20		6	8	-	-	-	-	-	-	6	-	***<u>Подготовка к лабораторной работе:</u>***

	усилители мощности и автогенераторы СВЧ													Подготовка к лабораторной работе "Транзисторный СВЧ усилитель мощности (схема с общим эмиттером)"
8.1	Транзисторные усилители мощности и автогенераторы СВЧ	20		6	8	-	-	-	-	-	-	6	-	***Подготовка к лабораторной работе:*** Подготовка к лабораторной работе "Модель транзисторного СВЧ усилителя мощности" ***Самостоятельное изучение теоретического материала:*** Изучение дополнительного материала по разделу "Транзисторные усилители мощности и автогенераторы СВЧ"
9	Клистронные генераторы	5		3	-	-	-	-	-	-	-	2	-	***Самостоятельное изучение теоретического материала:*** Изучение дополнительного материала по разделу "Клистронные генераторы"
9.1	Клистронные генераторы	5		3	-	-	-	-	-	-	-	2	-	
10	Усилители и автогенераторы на лампах бегущей и обратной волны	5		3	-	-	-	-	-	-	-	2	-	***Самостоятельное изучение теоретического материала:*** Изучение дополнительного материала по разделу "Усилители и автогенераторы на лампах бегущей и обратной волны"
10.1	Усилители и автогенераторы на лампах бегущей и обратной волны	5		3	-	-	-	-	-	-	-	2	-	
11	Усилители мощности и автогенераторы магнетронного типа	17		7	4	-	-	-	-	-	-	6	-	***Подготовка к лабораторной работе:*** Подготовка к лабораторной работе "Магнетронный генератор"
11.1	Усилители мощности и автогенераторы магнетронного типа	17		7	4	-	-	-	-	-	-	6	-	***Самостоятельное изучение теоретического материала:*** Изучение дополнительного материала по разделу "Усилители мощности и автогенераторы магнетронного типа"
12	Полупроводниковые диодные СВЧ-генераторы	9		7	-	-	-	-	-	-	-	2	-	***Подготовка к контрольной работе:*** Подготовка к контрольной работе "Расчет рабочих и нагрузочных характеристик генераторов СВЧ" ***Самостоятельное изучение теоретического материала:*** Изучение дополнительного материала по разделу "Полупроводниковые диодные СВЧ-
12.1	Полупроводниковые диодные СВЧ-генераторы	9		7	-	-	-	-	-	-	-	2	-	

														генераторы"
	Экзамен	36.0		-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5	
	Всего за семестр	**108.0**		**32**	**16**	**-**	**-**	**2**	**-**	**-**	**0.5**	**24**	**33.5**	
	Итого за семестр	**108.0**		**32**	**16**	**-**	**2**		**-**		**0.5**	**57.5**		
13	Типовые требования к УГФС и их влияние на выбор функциональных схем	14	9	4	-	-	-	-	-	-	-	10	-	***Подготовка расчетных заданий:***
13.1	Типовые требования к УГФС и их влияние на выбор функциональных схем	14		4	-	-	-	-	-	-	-	10	-	
14	Широкополосные усилители мощности с полосой до октавы: элементная база, цепи согласования, типовые характеристики	20		6	-	-	-	-	-	-	-	14	-	***Подготовка расчетных заданий:*** ***Изучение материалов литературных источников:*** [6], стр. 206-234 [7], стр. 233-268 [8], стр. 9-22
14.1	Широкополосные усилители мощности с полосой до октавы: элементная база, цепи согласования, типовые характеристики	20		6	-	-	-	-	-	-	-	14	-	
15	Широкополосные усилители мощности с полосой более октавы: особенности построения цепей согласования, примеры характеристик	15		5	-	-	-	-	-	-	-	10	-	***Подготовка расчетных заданий:***
15.1	Широкополосные усилители мощности с полосой более октавы: особенности построения цепей	15		5	-	-	-	-	-	-	-	10	-	

	согласования, примеры характеристик													
16	Пассивные диодные смесители	17		5	-	-	-	-	-	-	-	12	-	***Подготовка расчетных заданий:*** ***Изучение материалов литературных источников:*** [9], стр. 226-238
16.1	Пассивные диодные смесители	17		5	-	-	-	-	-	-	-	12	-	
17	Шумовые характеристики УГФС. Фазовые и амплитудные шумы, вносимые основными функциональными узлами УГФС. Методы построения малошумящих УГФС	41.7		12	-	-	-	-	-	-	-	29.7	-	***Подготовка расчетных заданий:*** ***Изучение материалов литературных источников:*** [6], п. 5.4, 5.5
17.1	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	-	-	
	Всего за семестр	**108.0**		**32**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**0.3**	**75.7**	**-**	
	Итого за семестр	**108.0**		**32**	**-**	**-**	**-**		**-**		**0.3**	**75.7**		
	ИТОГО	**324.0**	**-**	**96**	**32**	**16**	**2**		**-**		**1.1**	**176.9**		

Примечание: Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПР – 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. Параметры и характеристики активных элементов

1.1. Параметры и характеристики активных элементов

Типы и области применения активных элементов (АЭ), в частности, биполярных и полевых транзисторов. Статические характеристики АЭ и их аппроксимация. Классификация режимов работы АЭ в усилителях мощности. Гармонический анализ косинусоидальных импульсов.

2. Транзисторные усилители мощности

2.1. Транзисторные усилители мощности

Задачи проектирования и реализации усилителей мощности. Колебательные и нагрузочные характеристики и выбор оптимального режима транзисторного усилителя мощности. Расчет усилителя в критическом режиме на заданную мощность в нагрузке. Выбор угла отсечки. Простые цепи согласования в усилителях мощности. Оценка фильтрации высших гармоник. Учет потерь в цепях связи и общий КПД каскада. Принципиальные схемы усилителей мощности.

3. Принципы повышения КПД и ключевые усилители мощности

3.1. Принципы повышения КПД и ключевые усилители мощности

Использование высших гармоник для повышения КПД усилителей мощности. Ключевые режимы работы УМ. Схемы и энергетические показатели транзисторных ключевых генераторов. Частотные ограничения для ключевых режимов.

4. Амплитудная модуляция

4.1. Амплитудная модуляция

Общие соотношения при амплитудной модуляции. Способы и схемы реализации амплитудно-модулированных (АМ) сигналов. Модуляция смещением. Усиление модулированных колебаний. Коллекторная модуляция. Комбинированная коллекторная модуляция. Статические и динамические модуляционные характеристики, искажения при амплитудной модуляции.

5. Автогенераторы гармонических колебаний

5.1. Автогенераторы гармонических колебаний

Области применения и требования к автогенераторам различного назначения. Автогенератор с трансформаторной обратной связью. Автогенераторы на трехполюсном АЭ. Обобщенная трехточечная схема. Колебательные характеристики и устойчивость стационарных режимов при фиксированном смещении. Автогенераторы с цепями автоматического смещения. Цепи питания и смещения в схемах автогенераторов. Регулировочные характеристики автогенераторов. Требования к стабильности частоты колебаний. Кварцевая стабилизация частоты.

6. Формирование сигналов с угловой модуляцией

6.1. Формирование сигналов с угловой модуляцией

Общие соотношения при угловой модуляции. Основные методы и схемы формирования ЧМ и ФМ сигналов. Частотная модуляция в автогенераторах с помощью варикапа.

7. Формирование опорных колебаний и синтез частот

7.1. Формирование опорных колебаний и синтез частот

Требования к синтезаторам частот. Методы прямого синтеза. Синтезаторы на основе кольца фазовой автоподстройки частоты. Цифровые вычислительные синтезаторы.

8. Транзисторные усилители мощности и автогенераторы СВЧ

8.1. Транзисторные усилители мощности и автогенераторы СВЧ

Основные характеристики усилителя мощности. Нелинейная зарядовая модель биполярного и полевого транзисторов и ее кусочно-линейная аппроксимация. Расчет усилителя мощности на максимальный коэффициент усиления по мощности при заданном коэффициенте устойчивости.

9. Клистронные генераторы

9.1. Клистронные генераторы

Принцип действия клистронных генераторов. Усилители мощности и умножители частоты на пролетных клистронах. Автогенератор на отражательном клистроне.

10. Усилители и автогенераторы на лампах бегущей и обратной волны

10.1. Усилители и автогенераторы на лампах бегущей и обратной волны

Принцип работы усилителей с распределенным взаимодействием. Регулировочные характеристики усилителей на лампах бегущей волны типа О. Автогенераторы на лампах бегущей волны типа О. Автогенераторы и усилители на лампах обратной волны.

11. Усилители мощности и автогенераторы магнетронного типа

11.1. Усилители мощности и автогенераторы магнетронного типа

Генераторы на приборах магнетронного типа. Движение электронов в скрещенных электрических и магнитных полях. Характеристики и параметры магнетронных автогенераторов. Виды магнетронных автогенераторов и усилителей мощности. Формирование модулированных колебаний в приборах типа М.

12. Полупроводниковые диодные СВЧ-генераторы

12.1. Полупроводниковые диодные СВЧ-генераторы

Основные классы и области применения полупроводниковых диодных генераторов. Принцип действия и характеристики лавинно-пролетного диода. Принцип действия и характеристики диода Ганна. Конструкции и эквивалентные схемы диодных генераторов. Управление колебаниями диодных генераторов. Способы повышения КПД диодных генераторов.

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

13.1. 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.

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

14.1. 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.

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

15.1. 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.

16. Пассивные диодные смесители

16.1. Пассивные диодные смесители

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

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

17.1. 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

1. Влияние питающих напряжений и нагрузки на режим усилителя мощности;
2. Автогенераторы с кварцевой стабилизацией частоты и особенности их расчета;
3. Аппроксимация статических характеристик и гармонический анализ токов биполярных и полевых транзисторов. Режимы усилителя мощности;
4. Выбор оптимального режима резонансных УМ и УЧ на безынерционных АЭ. Нагрузочные характеристики. Основы расчета УМ в критическом режиме. Принципы построения схем резонансных УМ и УЧ;
5. Статические модуляционные характеристики при модуляции смещением и усилении модулированных колебаний;
6. Расчет стационарных режимов автогенераторов с помощью диаграмм срыва и смещения. Нагрузочные характеристики;
7. Расчет параметров и режима транзисторного автогенератора, перестраиваемого по частоте переменным конденсатором. Схемы и регулировочные характеристики АГ, управляемых по частоте варикапами;
8. Статические модуляционные характеристики при коллекторной и комбинирован-ной коллекторной АМ.

3.4. Темы лабораторных работ

1. Синтезатор частот с частотно-фазовым детектором;
2. Магнетронный генератор;
3. Транзисторный СВЧ усилитель мощности (схема с общим эмиттером);
4. Модель транзисторного СВЧ усилителя мощности (схема с общим эмиттером);
5. Управление частотой автогенератора;
6. Коллекторная и комбинированная модуляция;
7. Транзисторный усилитель мощности;
8. Режимы автогенератора.

3.5 Консультации

Групповые консультации по разделам дисциплины (ГК)

1. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Формирование опорных колебаний и синтез частот"
2. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Транзисторные усилители мощности и автогенераторы СВЧ"
3. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Клистронные генераторы"
4. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Усилители и автогенераторы на лампах бегущей и обратной волны"
5. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Усилители мощности и автогенераторы магнетронного типа"
6. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Полупроводниковые диодные СВЧ-генераторы"
7. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Типовые требования к УГФС и их влияние на выбор функциональных схем"
8. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Широкополосные усилители мощности с полосой до октавы"
9. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Широкополосные усилители мощности с полосой более октавы"
10. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Пассивные диодные смесители"
11. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Шумовые характеристики УГФС"

Текущий контроль (ТК)

1. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Параметры и характеристики активных элементов"
2. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Транзисторные усилители мощности"
3. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Принципы повышения КПД и ключевые усилители мощности"
4. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Амплитудная модуляция"
5. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Автогенераторы гармонических колебаний"
6. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Формирование сигналов с угловой модуляцией"

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	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
Знать:																			
методику выбора технических средств экспериментального исследования параметров и характеристик изучаемых функциональных узлов устройств формирования радиосигналов	ИД-З$_{ОПК-1}$	+	+	+															Лабораторная работа/Транзисторный усилитель мощности Расчетно-графическая работа/Усилитель мощности
методы математического моделирования объектов и процессов по типовым методикам	ИД-1$_{ОПК-3}$	+			+														Лабораторная работа/Амплитудная модуляция усилителя мощности Расчетно-графическая работа/Амплитудная модуляция усилителя мощности
методику выбора технических средств экспериментального исследования параметров и характеристик изучаемых функциональных узлов устройств формирования радиосигналов	ИД-1$_{ОПК-4}$									+	+	+	+						Лабораторная работа/Магнетронный генератор Контрольная работа/Расчет рабочих и нагрузочных характеристик генераторов СВЧ
источники, методы оценки	ИД-З$_{ОПК-5}$																+		Расчетно-графическая

и снижения шумов на выходах УГФС, механизмы их влияния на формируемые сигналы																		работа/Побочные составляющие в спектре колебания
методы расчёта параметров и характеристик схем УГФС	ИД-2$_{ОПК-6}$													+				Расчетно-графическая работа/Выравнивающие цепи
методы построения схем УГФС	ИД-2$_{ОПК-6}$												+					Расчетно-графическая работа/s-параметры
Уметь:																		
применять общеинженерные знания в инженерной деятельности при проектировании функциональных узлов устройств формирования радиосигналов	ИД-3$_{ОПК-1}$	+				+												Расчетно-графическая работа/Автогенератор Лабораторная работа/Режимы автогенератора
выполнять расчеты функциональных узлов и блоков устройств формирования радиосигналов, опираясь на анализ характера поставленной задачи	ИД-1$_{ОПК-3}$	+					+											Лабораторная работа/Управление частотой автоколебаний
проводить экспериментальные исследования характеристик устройств формирования радиосигналов, формулировать выводы о влиянии параметров электрических цепей на	ИД-2$_{ОПК-4}$							+										Лабораторная работа/Синтезатор частот с частотно-фазовым детектором

экспериментальные данные																		
обрабатывать и представлять полученные экспериментальные данные по исследованию характеристик устройств формирования радиосигналов, оценивать погрешности полученных экспериментальных данных	ИД-3$_{ОПК-4}$								+									Лабораторная работа/Модель транзисторного СВЧ усилителя мощности Лабораторная работа/Транзисторный СВЧ усилитель мощности
выполнять количественные оценки уровней фазовых шумов на выходах УГФС с выбранными схемами и решать задачи снижения этих шумов до минимальных уровней, допустимых по техническим требованиям	ИД-3$_{ОПК-5}$																+	Расчетно-графическая работа/Расчёт фазового шума источника колебаний
выбирать схемы и выполнять расчёты параметров и режимов широкополосных усилителей мощности	ИД-2$_{ОПК-6}$															+		Расчетно-графическая работа/Микрополосковые цепи

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

4.1. Текущий контроль успеваемости

7 семестр

Форма реализации: Допуск к лабораторной работе

1. Амплитудная модуляция усилителя мощности (Лабораторная работа)
2. Режимы автогенератора (Лабораторная работа)
3. Транзисторный усилитель мощности (Лабораторная работа)
4. Управление частотой автоколебаний (Лабораторная работа)

Форма реализации: Проверка задания

1. Автогенератор (Расчетно-графическая работа)
2. Амплитудная модуляция усилителя мощности (Расчетно-графическая работа)
3. Усилитель мощности (Расчетно-графическая работа)

8 семестр

Форма реализации: Допуск к лабораторной работе

1. Магнетронный генератор (Лабораторная работа)
2. Модель транзисторного СВЧ усилителя мощности (Лабораторная работа)
3. Синтезатор частот с частотно-фазовым детектором (Лабораторная работа)
4. Транзисторный СВЧ усилитель мощности (Лабораторная работа)

Форма реализации: Письменная работа

1. Расчет рабочих и нагрузочных характеристик генераторов СВЧ (Контрольная работа)

9 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 №7)

Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» по совокупности результатов текущего контроля успеваемости.

Экзамен (Семестр №8)

Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании семестровой и аттестационной составляющих.

Зачет с оценкой (Семестр №9)

Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании семестровой и аттестационной составляющих.

В диплом выставляется оценка за 9 семестр.

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

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1 Печатные и электронные издания:

1. Формирование колебаний и сигналов : учебник для студентов вузов, обучающихся по инженерно-техническим направлениям, по направлению "Радиотехника" / В. Н. Кулешов, [и др.] ; ред. В. Н. Кулешов, Н. Н. Удалов. – 2-е изд. перераб. и доп. – Москва : Юрайт, 2020. – 391 с. – (Высшее образование). – 1-е изд. выходило под загл.: "Генерирование колебаний и формирование радиосигналов". – ISBN 978-5-534-11281-8.;
2. Белов, Л. А. Радиоэлектроника. Формирование стабильных частот и сигналов : учебник для вузов / Л. А. Белов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Юрайт, 2020. – 229 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-534-09062-8.;
3. Сафин, А. Р. Транзисторные усилители мощности : сборник задач по курсу "Устройства генерирования и формирования сигналов" по направлениям "Радиотехника", "Радиоэлектронные системы и комплексы" / А. Р. Сафин, Н. Н. Удалов ; ред. Н. Н. Удалов ; Нац. исслед. ун-т "МЭИ" (НИУ"МЭИ"). – М. : Изд-во МЭИ, 2018. – 76 с. – ISBN 978-5-7046-2062-4.
http://elib.mpei.ru/elib/view.php?id=10350;
4. Сафин, А. Р. Транзисторные автогенераторы : сборник задач по курсу "Устройства генерирования и формирования сигналов" по направлениям "Радиотехника", "Радиоэлектронные системы и комплексы" / А. Р. Сафин, Н. Н. Удалов, Нац. исслед. ун-т "МЭИ" (НИУ"МЭИ"). – М. : Изд-во МЭИ, 2018. – 76 с. – ISBN 978-5-7046-1995-6.
http://elib.mpei.ru/elib/view.php?id=10349;
5. Савелькаев С. В.- "Теоретические основы построения имитаторов-анализаторов усилителей и автогенераторов СВЧ", Издательство: "Лань", Санкт-Петербург, 2019 - (100 с.)
https://e.lanbook.com/book/113914;
6. Сечи, Ф. Мощные твердотельные СВЧ-усилители : пер. с англ. / Ф. Сечи, М. Буджатти. – М. : Техносфера, 2016. – 416 с. – (Мир радиоэлектроники). – ISBN 978-5-94836-415-5.;
7. Атабеков, Г. И. Теоретические основы электротехники. Линейные электрические цепи : учебное пособие / Г. И. Атабеков. – 6-е изд., стер. – СПб. : Лань-Пресс, 2008. – 592 с. – (Учебники для вузов. Специальная литература). – ISBN 978-5-8114-0800-9.;
8. 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;
9. 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. Видеоконференции (Майнд, Сберджаз, ВК и др);
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
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 практических занятий, КР и КП	Е-703/11, Лаборатория каф. "ФОРС"	стол преподавателя, стол, стул, шкаф, вешалка для одежды, доска меловая, оборудование специализированное, стенд лабораторный
Учебные аудитории для проведения лабораторных занятий	Е-703/11, Лаборатория каф. "ФОРС"	стол преподавателя, стол, стул, шкаф, вешалка для одежды, доска меловая, оборудование специализированное, стенд лабораторный
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	Е-703/3, Лаборатория каф. "ФОРС"	стеллаж, стол преподавателя, стол, стул, вешалка для одежды, доска меловая, лабораторный стенд
Помещения для самостоятельной работы	НТБ-303, Лекционная аудитория	стол компьютерный, стул, стол письменный, вешалка для одежды, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный, принтер, кондиционер
Помещения для консультирования	Е-703/9, Кабинет сотрудников каф. "ФОРС"	кресло рабочее, стол, стул, шкаф для документов, стол письменный, вешалка для одежды, доска меловая, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный, принтер, кондиционер, книги, учебники, пособия
	Е-703/8, Кабинет сотрудников каф. "ФОРС"	кресло рабочее, стол, стул, шкаф для документов, стол письменный, вешалка для одежды, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный, принтер, книги, учебники, пособия
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	Е-703/7, Кладовая каф. "ФОРС"	стеллаж, стол, стул

Приложение А

БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Устройства генерирования и формирования сигналов

(название дисциплины)

7 семестр

Перечень контрольных мероприятий <u>текущего контроля</u> успеваемости по дисциплине:

КМ-1 Транзисторный усилитель мощности (Лабораторная работа)
КМ-2 Усилитель мощности (Расчетно-графическая работа)
КМ-3 Амплитудная модуляция усилителя мощности (Лабораторная работа)
КМ-4 Амплитудная модуляция усилителя мощности (Расчетно-графическая работа)
КМ-5 Режимы автогенератора (Лабораторная работа)
КМ-6 Автогенератор (Расчетно-графическая работа)
КМ-7 Управление частотой автоколебаний (Лабораторная работа)

Вид промежуточной аттестации – Зачет с оценкой.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5	КМ-6	КМ-7
		Неделя КМ:	4	5	8	9	12	13	15
1	Параметры и характеристики активных элементов								
1.1	Параметры и характеристики активных элементов		+	+	+	+	+	+	+
2	Транзисторные усилители мощности								
2.1	Транзисторные усилители мощности		+	+					
3	Принципы повышения КПД и ключевые усилители мощности								
3.1	Принципы повышения КПД и ключевые усилители мощности		+	+					
4	Амплитудная модуляция								
4.1	Амплитудная модуляция				+	+			
5	Автогенераторы гармонических колебаний								
5.1	Автогенераторы гармонических колебаний						+	+	
6	Формирование сигналов с угловой модуляцией								
6.1	Формирование сигналов с угловой модуляцией								+
		Вес КМ, %:	15	15	15	10	15	20	10

8 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

КМ-8 Синтезатор частот с частотно-фазовым детектором (Лабораторная работа)
КМ-9 Модель транзисторного СВЧ усилителя мощности (Лабораторная работа)
КМ-10 Транзисторный СВЧ усилитель мощности (Лабораторная работа)
КМ-11 Магнетронный генератор (Лабораторная работа)
КМ-12 Расчет рабочих и нагрузочных характеристик генераторов СВЧ (Контрольная работа)

Вид промежуточной аттестации – Экзамен.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-8	КМ-9	КМ-10	КМ-11	КМ-12
		Неделя КМ:	4	8	12	15	15
1	Формирование опорных колебаний и синтез частот						
1.1	Формирование опорных колебаний и синтез частот		+				
2	Транзисторные усилители мощности и автогенераторы СВЧ						
2.1	Транзисторные усилители мощности и автогенераторы СВЧ			+	+		
3	Клистронные генераторы						
3.1	Клистронные генераторы					+	+
4	Усилители и автогенераторы на лампах бегущей и обратной волны						
4.1	Усилители и автогенераторы на лампах бегущей и обратной волны					+	+
5	Усилители мощности и автогенераторы магнетронного типа						
5.1	Усилители мощности и автогенераторы магнетронного типа					+	+
6	Полупроводниковые диодные СВЧ-генераторы						
6.1	Полупроводниковые диодные СВЧ-генераторы					+	+
		Вес КМ, %:	20	15	15	20	30

9 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

КМ-13 s-параметры (Расчетно-графическая работа)
КМ-14 Выравнивающие цепи (Расчетно-графическая работа)
КМ- Микрополосковые цепи (Расчетно-графическая работа)

15

КМ-16 Побочные составляющие в спектре колебания (Расчетно-графическая работа)

КМ-17 Расчёт фазового шума источника колебаний (Расчетно-графическая работа)

Вид промежуточной аттестации – Зачет с оценкой.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-13	КМ-14	КМ-15	КМ-16	КМ-17
		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