

**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 методы и устройства формирования и обработки сигналов

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная


**Рабочая программа дисциплины**  
**СИНТЕЗАТОРЫ ЧАСТОТ И СИГНАЛОВ**

<b>Блок:</b>	<b>Блок 1 «Дисциплины (модули)»</b>
<b>Часть образовательной программы:</b>	<b>Часть, формируемая участниками образовательных отношений</b>
<b>№ дисциплины по учебному плану:</b>	<b>Б1.Ч.01.02.01</b>
<b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b>	<b>3 семестр - 3;</b>
<b>Часов (всего) по учебному плану:</b>	<b>108 часов</b>
<b>Лекции</b>	<b>3 семестр - 32 часа;</b>
<b>Практические занятия</b>	<b>3 семестр - 16 часов;</b>
<b>Лабораторные работы</b>	<b>не предусмотрено учебным планом</b>
<b>Консультации</b>	<b>проводится в рамках часов аудиторных занятий</b>
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>3 семестр - 59,7 часа;</b>
<b>в том числе на КП/КР</b>	<b>не предусмотрено учебным планом</b>
<b>Иная контактная работа</b>	<b>проводится в рамках часов аудиторных занятий</b>
<b>включая:</b> <b>Тестирование</b> <b>Контрольная работа</b>	
<b>Промежуточная аттестация:</b>	
<b>Зачет с оценкой</b>	<b>3 семестр - 0,3 часа;</b>

**Москва 2024**

## ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:


Преподаватель

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Торина Е.М.
	Идентификатор	Rf078b9d4-DrozdovaYM-9d5fc66d

Е.М. Торина


## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной  
программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Торина Е.М.
	Идентификатор	Rf078b9d4-DrozdovaYM-9d5fc66d

Е.М. Торина

Заведующий выпускающей  
кафедрой

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Остапенков П.С.
	Идентификатор	R6356f55c-OstapenkovPS-854af18

П.С. Остапенков

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цель освоения дисциплины:** изучение структурных схем, параметров и методов расчёта синтезаторов стабильных частот и сигналов для последующего использования при их проектировании, применении и в новых разработках

### Задачи дисциплины

- освоение способов синтеза требуемого значения частоты повторения выходного сигнала при заданном фиксированном значении частоты опорного колебания;

- изучение методов расчёта параметров выходного сигнала синтезатора стабильных частот и модулированных сигналов с заданными требованиями к погрешностям отклонений от требуемых значений.

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
ПК-2 Способность разрабатывать и модернизировать радиоэлектронные устройства и блоки	ИД-1 <sub>ПК-2</sub> Разрабатывает структурные, функциональные и принципиальные схемы радиоэлектронных устройств	знать: - основные методы формирования сигналов, обеспечения основных характеристик устройств формирования сигналов.  уметь: - формулировать и решать задачи, используя математический аппарат и численные методы для анализа и синтеза синтезаторов частот.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Радиотехнические методы и устройства формирования и обработки сигналов (далее – ОПОП), направления подготовки 11.04.01 Радиотехника, уровень образования: высшее образование - магистратура.

Базируется на уровне высшего образования (бакалавриат, специалитет).

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	Характеристики сигналов и источники опорных колебаний	18	3	6	-	2	-	-	-	-	-	10	-	<p><b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Характеристики сигналов и источники опорных колебаний"</p> <p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Характеристики сигналов и источники опорных колебаний"</p> <p><b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b> Изучение материалов и подготовка к тестированию</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], п. 1.1 - 1.5; 2.1 - 2.5 [3], стр. 5-16; 415-423; 436-444 [4], п. 1.1, 1.2</p>
1.1	Характеристики сигналов и источники опорных колебаний	18		6	-	2	-	-	-	-	-	10	-	
2	Функциональные узлы синтезаторов частот	19		6	-	3	-	-	-	-	-	10	-	
2.1	Функциональные узлы синтезаторов частот	19		6	-	3	-	-	-	-	-	10	-	

													частот" <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], п. 3.1-3.8 [3], стр. 17-54; 249-262; 351-371
3	Цифровые вычислительные синтезаторы	20	6	-	3	-	-	-	-	-	11	-	<b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b> Изучение материалов и подготовка к контрольной работе
3.1	Цифровые вычислительные синтезаторы	20	6	-	3	-	-	-	-	-	11	-	<b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Цифровые вычислительные синтезаторы" <b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Цифровые вычислительные синтезаторы" <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], п. 4.1-4.5 [3], стр. 281-316
4	Синтезаторы с фазовой автоподстройкой частоты (СЧ ФАПЧ)	20	6	-	4	-	-	-	-	-	10	-	<b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b> Изучение материалов и подготовка к контрольной работе <b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b>
4.1	Синтезаторы с фазовой автоподстройкой частоты (СЧ ФАПЧ)	20	6	-	4	-	-	-	-	-	10	-	Повторение материала по разделу "Синтезаторы с фазовой автоподстройкой частоты (СЧ ФАПЧ)" <b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Синтезаторы с фазовой автоподстройкой частоты (СЧ ФАПЧ)" <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], п. 5.1-5.6 [2], п.3.3 [3], стр. 592-596 [4], п.2.1-2.3
5	Быстродействие, погрешность	14	4	-	2	-	-	-	-	-	8	-	<b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b> Изучение материалов и подготовка к

	установки частоты и уровень мешающих компонентов в СЧ ФАПЧ												контрольной работе <b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Быстродействие, погрешность установки частоты и уровень мешающих компонентов в СЧ ФАПЧ" <b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Быстродействие, погрешность установки частоты и уровень мешающих компонентов в СЧ ФАПЧ" <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], п. 5.4 [2], п.3.2 [3], стр. 263-268 [4], п.2.4 - 2.7
5.1	Быстродействие, погрешность установки частоты и уровень мешающих компонентов в СЧ ФАПЧ	14	4	-	2	-	-	-	-	-	8	-	
6	Формирование сигналов с угловой модуляцией и сигналов произвольной формы	16.7	4	-	2	-	-	-	-	-	10.7	-	<b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Формирование сигналов с угловой модуляцией и сигналов произвольной формы"
6.1	Формирование сигналов с угловой модуляцией и сигналов произвольной формы	16.7	4	-	2	-	-	-	-	-	10.7	-	<b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Формирование сигналов с угловой модуляцией и сигналов произвольной формы" <b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b> Изучение материалов и подготовка к тестированию <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], п.6.3; 7.1 - 7.4 [2], п.3.4 [3], стр.447-457
	Зачет с оценкой	0.3	-	-	-	-	-	-	-	0.3	-	-	
	Всего за семестр	108.0	32	-	16	-	-	-	-	0.3	59.7	-	

	<b>Итого за семестр</b>	<b>108.0</b>		<b>32</b>	<b>-</b>	<b>16</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>0.3</b>	<b>59.7</b>	
--	-------------------------	--------------	--	-----------	----------	-----------	----------	----------	------------	-------------	--

**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. Характеристики сигналов и источники опорных колебаний

#### 1.1. Характеристики сигналов и источники опорных колебаний

1. Характеристики сигналов и источники опорных колебаний. Спектры мощности источников колебаний стабильной радиочастоты. Спектры фазовых и амплитудных флуктуаций источников колебаний. Спектры модулированных колебаний и сигналов произвольной формы. Стандарты частоты. Работа схем простейших модуляторов.

### 2. Функциональные узлы синтезаторов частот

#### 2.1. Функциональные узлы синтезаторов частот

Функциональные узлы синтезаторов сигналов. Основные параметры устройств, входящих в состав синтезаторов сигналов. Примеры функционирования конкретных схем.

### 3. Цифровые вычислительные синтезаторы

#### 3.1. Цифровые вычислительные синтезаторы

Общие сведения о методах синтеза. Цифровые вычислительные синтезаторы частот. Краткая история синтеза. Прямой ана-логовый синтез. Прямой цифровой синтез (ЦВС). Ядро, каскадное включение. Выбор разрядности функциональных узлов и частоты тактирования. Способы увеличения быстродействия и снижения уровня побочных спектральных составляющих. Двухуровневые и многоуровневые цифровые синтезаторы частот. Модуляция колебаний в ЦВС.

### 4. Синтезаторы с фазовой автоподстройкой частоты (СЧ ФАПЧ)

#### 4.1. Синтезаторы с фазовой автоподстройкой частоты (СЧ ФАПЧ)

4. Синтезаторы с фазовой автоподстройкой частоты (СЧ ФАПЧ). Выбор типа фазового или частотно-фазового дискриминатора, структуры и параметров цепи обратной связи. Обеспечение устойчивости, заданных значений качества и скорости переходных процессов, погрешности установки частоты. Целочисленные и дробно-переменные делители частоты, сигма-дельта модуляторы. Понижение уровня фазового шума вблизи несущей частоты.

### 5. Быстродействие, погрешность установки частоты и уровень мешающих компонентов в СЧ ФАПЧ

#### 5.1. Быстродействие, погрешность установки частоты и уровень мешающих компонентов в СЧ ФАПЧ

Уравнение для анализа малых отклонений стационарного режима. Анализ устойчивости стационарного режима. Флуктуационные характеристики СЧ ФАПЧ. Алгоритм Евклида. СЧ ФАПЧ с дробно-переменным делителем частоты. Сигма-дельта модулятор.

### 6. Формирование сигналов с угловой модуляцией и сигналов произвольной формы

#### 6.1. Формирование сигналов с угловой модуляцией и сигналов произвольной формы

5. Формирование сигналов с модуляцией и сигналов произвольной формы. Формирование сигналов с угловой модуляцией при высоких требованиях к стабильности несущей частоты и к параметрам модуляции. Метод фазовой дискретизации. Автоподстройка параметров модуляции. Синтез сигналов произвольной формы методами сплайнов, порождающих динамических систем и суммирования базисных функций.



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

1. Формирование сигналов различной формы;
2. Уровень фазового шума в СЧ ФАПЧ вблизи несущей частоты;
3. Синтезаторы с фазовой автоподстройкой частоты (СЧ ФАПЧ);
4. Цифровые вычислительные синтезаторы (ЦВС);
5. Функциональные узлы синтезаторов сигналов;
6. Характеристики сигналов.

### **3.4. Темы лабораторных работ** не предусмотрено

### **3.5 Консультации**

#### *Групповые консультации по разделам дисциплины (ГК)*

1. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Характеристики сигналов и источники опорных колебаний"
2. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Функциональные узлы синтезаторов частот"
3. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Цифровые вычислительные синтезаторы"
4. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Синтезаторы с фазовой автоподстройкой частоты (СЧ ФАПЧ)"
5. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Быстродействие, погрешность установки частоты и уровень мешающих компонентов в СЧ ФАПЧ"
6. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Формирование сигналов с угловой модуляцией и сигналов произвольной формы"

### **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	
<b>Знать:</b>								
основные методы формирования сигналов, обеспечения основных характеристик устройств формирования сигналов	ИД-1пк-2	+	+	+				Тестирование/Функциональные узлы синтезаторов частот Тестирование/Характеристики сигналов и источники опорных колебаний Контрольная работа/Цифровые вычислительные синтезаторы
<b>Уметь:</b>								
формулировать и решать задачи, используя математический аппарат и численные методы для анализа и синтеза синтезаторов частот	ИД-1пк-2				+	+	+	Контрольная работа/Синтезаторы с фазовой автоподстройкой частоты часть 1 Контрольная работа/Синтезаторы с фазовой автоподстройкой частоты часть 2 Тестирование/Формирование сигналов с угловой модуляцией и сигналов произвольной формы

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

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

**3 семестр**

Форма реализации: Письменная работа

1. Синтезаторы с фазовой автоподстройкой частоты часть 1 (Контрольная работа)
2. Синтезаторы с фазовой автоподстройкой частоты часть 2 (Контрольная работа)
3. Формирование сигналов с угловой модуляцией и сигналов произвольной формы (Тестирование)
4. Функциональные узлы синтезаторов частот (Тестирование)
5. Характеристики сигналов и источники опорных колебаний (Тестирование)
6. Цифровые вычислительные синтезаторы (Контрольная работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

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

*Зачет с оценкой (Семестр №3)*

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 3 семестр.

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

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

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

1. Белов, Л. А. Синтезаторы частот и сигналов : Учебное пособие для вузов по направлению 654200 "Радиотехника" / Л. А. Белов . – М. : Сайнс-Пресс, 2002 . – 80 с. – (Конспекты лекций по радиотехническим дисциплинам ; Вып.9) . - ISBN 5-948180-12-3 ;
2. Белов, Л. А. Устройства формирования СВЧ - сигналов и их компоненты : учебное пособие для вузов по направлению 210300 "Радиотехника" / Л. А. Белов . – М. : Издательский дом МЭИ, 2010 . – 320 с. - ISBN 978-5-383-00497-5 .  
<http://elib.mpei.ru/elib/view.php?id=4270>;
3. Головин О. В.- "Устройства генерирования, формирования, приема и обработки сигналов", Издательство: "Горячая линия-Телеком", Москва, 2017 - (783 с.)  
<https://e.lanbook.com/book/111045>;
4. Жабин, А. С. Синтезаторы частот с системой фазовой автоподстройки : учебное пособие по курсам "Устройства генерирования и формирования сигналов", "Синтезаторы частот и сигналов" по направлению "Радиотехника" / А. С. Жабин, Нац. исслед. ун-т "МЭИ" . – М. : Изд-во МЭИ, 2016 . – 64 с. - ISBN 978-5-7046-1625-2 .  
<http://elib.mpei.ru/elib/view.php?id=8169>.

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

1. Office / Российский пакет офисных программ;
2. Windows / Операционная система семейства Linux;
3. Видеоконференции (Майнд, Сберджаз, ВК и др);

#### 4. Micro-Cap.

### 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. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>
4. База данных Web of Science - <http://webofscience.com/>
5. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>
6. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>

### 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	Е-703/3, Лаборатория каф. "ФОРС"	стеллаж, стол преподавателя, стол, стул, вешалка для одежды, доска меловая, лабораторный стенд
	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	Е-703/3, Лаборатория каф. "ФОРС"	стеллаж, стол преподавателя, стол, стул, вешалка для одежды, доска меловая, лабораторный стенд
	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
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-201, 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-703/4, Лаборатория	стеллаж, стол, стул, вешалка для одежды, компьютерная сеть с выходом в Интернет, лабораторный стенд, оборудование для экспериментов, 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-703/10, Помещение для хранения оборудования, наглядных пособий	рабочее место сотрудника, стол, стул, шкаф, компьютер персональный, принтер, холодильник, кондиционер, книги, учебники, пособия
	Е-703/7, Кладовая	стеллаж, стол, стул

	καφ. "ΦΟΡΣ"	
--	-------------	--

## БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

## Синтезаторы частот и сигналов

(название дисциплины)

## 3 семестр

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

- КМ-1 Характеристики сигналов и источники опорных колебаний (Тестирование)  
 КМ-2 Функциональные узлы синтезаторов частот (Тестирование)  
 КМ-3 Цифровые вычислительные синтезаторы (Контрольная работа)  
 КМ-4 Синтезаторы с фазовой автоподстройкой частоты часть 1 (Контрольная работа)  
 КМ-5 Синтезаторы с фазовой автоподстройкой частоты часть 2 (Контрольная работа)  
 КМ-6 Формирование сигналов с угловой модуляцией и сигналов произвольной формы (Тестирование)

**Вид промежуточной аттестации – Зачет с оценкой.**

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5	КМ-6
		Неделя КМ:	4	8	11	13	14	15
1	Характеристики сигналов и источники опорных колебаний							
1.1	Характеристики сигналов и источники опорных колебаний		+	+	+			
2	Функциональные узлы синтезаторов частот							
2.1	Функциональные узлы синтезаторов частот		+	+	+			
3	Цифровые вычислительные синтезаторы							
3.1	Цифровые вычислительные синтезаторы		+	+	+			
4	Синтезаторы с фазовой автоподстройкой частоты (СЧ ФАПЧ)							
4.1	Синтезаторы с фазовой автоподстройкой частоты (СЧ ФАПЧ)					+	+	+
5	Быстродействие, погрешность установки частоты и уровень мешающих компонентов в СЧ ФАПЧ							
5.1	Быстродействие, погрешность установки частоты и уровень мешающих компонентов в СЧ ФАПЧ					+	+	+
6	Формирование сигналов с угловой модуляцией и сигналов произвольной формы							
6.1	Формирование сигналов с угловой модуляцией и сигналов произвольной формы					+	+	+

Bec KM, %:	5	15	25	20	15	20
------------	---	----	----	----	----	----