

**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**  
**ТЕОРИЯ КОЛЕБАНИЙ**


<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.02</b>
<b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b>	<b>1 семестр - 3;</b>
<b>Часов (всего) по учебному плану:</b>	<b>108 часов</b>
<b>Лекции</b>	<b>1 семестр - 32 часа;</b>
<b>Практические занятия</b>	<b>1 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>1 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>Расчетно-графическая работа</b> <b>Контрольная работа</b>	
<b>Промежуточная аттестация:</b>	
<b>Зачет с оценкой</b>	<b>1 семестр - 0,3 часа;</b>

**Москва 2020**

## ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

(должность)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Перфильев А.А.
	Идентификатор	Rac5cf7e3-PerfilyevAIA-9c6d228a

(подпись)

А.А. Перфильев

(расшифровка подписи)

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной программы

(должность, ученая степень, ученое звание)

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


(подпись)

А.Р. Сафин

(расшифровка  
подписи)

Заведующий выпускающей  
кафедры

(должность, ученая степень, ученое звание)

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

(подпись)

А.Р. Сафин

(расшифровка  
подписи)

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цель освоения дисциплины:** : изучение научных основ и теоретических методов исследования колебательных процессов в динамических системах, позволяющих дать качественное и количественное описание этих процессов и с использованием аппарата дифференциальных уравнений, математической теории устойчивости и методов фазового пространства; освоение методов решения задач, лежащих в основе проектирования радиотехнических устройств формирования колебаний и управления их параметрами

### Задачи дисциплины

- приобретение основных теоретических знаний о процессах в колебательных системах;
- изучение способов описания этих процессов, их анализа и методов составления уравнений движения;
- освоение методов исследования конкретных радиотехнических колебательных систем: автогенераторов, нелинейных усилителей и параметрических систем.

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-1 Способность проводить исследования в целях совершенствования радиоэлектронных устройств	ИД-3ПК-1 Разрабатывает алгоритмы и проводит исследования в целях совершенствования функциональных узлов радиоэлектронных устройств	знать: - структуру различных колебательных систем, четкие представления об их отличительных особенностях и назначении отдельных частей и элементов; - сущность и проявления различных колебательных процессов и условия их возникновения и развития.  уметь: - составлять и решать дифференциальные уравнения колебательных систем, исследовать устойчивость, исследовать нелинейные динамические системы методом фазового пространства; - использовать фундаментальный характер основных положений теории колебаний для выработки научного подхода к решению новых проблем радиоэлектроники и разработке алгоритмов.

## 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.

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать теоретические основы теории цепей и сигналов

- знать физические и математические модели активных твердотельных усилительных и генерирующих элементов, линий с распределёнными параметрами, нелинейных безынерционных преобразований сигналов

- уметь рассчитывать характеристики нелинейных преобразований сигналов в радиотехнических цепях

- уметь выполнять расчёты режимов основных аналоговых функциональных узлов РЭС

- уметь составлять дифференциальные уравнения линейных и нелинейных радиотехнических цепей

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	Составление уравнений движения колебательных систем	28	1	8	-	4	-	-	-	-	-	16	-	<p><b><u>Подготовка расчетно-графического задания:</u></b> Выполнение расчетного задания №1 "Расчет переходных процессов в линейном контуре методом дифференциальных уравнений"</p> <p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение материала по разделу "Составление уравнений движения колебательных систем"</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], стр. 13-22 [2], гл. 1</p>	
1.1	Составление уравнений движения колебательных систем	28		8	-	4	-	-	-	-	-	16	-		
2	Колебания в линейных консервативных системах	26		8	-	4	-	-	-	-	-	14	-		<p><b><u>Подготовка расчетно-графического задания:</u></b> Выполнение расчетного задания №2 "Расчет собственных частот и коэффициентов распределения свободных колебаний в системе с двумя степенями свободы"</p> <p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение материала по разделу "Колебания в линейных консервативных системах"</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], стр. 23-43 [2], гл. 1</p>
2.1	Колебания в линейных консервативных системах	26		8	-	4	-	-	-	-	-	14	-		
3	Описание движений в	28		8	-	4	-	-	-	-	-	16	-	<b><u>Подготовка расчетно-графического</u></b>	

	пространстве состояний. Устойчивость состояний равновесия												<b>задания:</b> Выполнение расчетного задания №3 "Анализ устойчивости состояний равновесия линеаризованных систем" <b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b> Подготовка к контрольной работе "Составление уравнений движения. Устойчивость состояний равновесия" <b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение материала по разделу "Описание движений в пространстве состояний. Устойчивость состояний равновесия" <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [2], гл. 2, 3
3.1	Описание движений в пространстве состояний. Устойчивость состояний равновесия	28	8	-	4	-	-	-	-	-	16	-	
4	Метод фазового пространства теории нелинейных систем	25.7	8	-	4	-	-	-	-	-	13.7	-	<b><u>Подготовка расчетно-графического задания:</u></b> Выполнение расчетных заданий №4 "Исследование системы со 1/2 степенью свободы" и №5 "Построение фазовых портретов линейных динамических систем второго порядка" <b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение материала по разделу "Метод фазового пространства теории нелинейных систем" <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [2], гл. 4, 5 [3], гл. 2, 3
4.1	Метод фазового пространства теории нелинейных систем	25.7	8	-	4	-	-	-	-	-	13.7	-	
	Зачет с оценкой	0.3	-	-	-	-	-	-	-	0.3	-	-	
	Всего за семестр	108.0	32	-	16	-	-	-	-	0.3	59.7	-	
	Итого за семестр	108.0	32	-	16	-	-	-	-	0.3	59.7	-	

**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. Составление уравнений движения колебательных систем

#### 1.1. Составление уравнений движения колебательных систем

Примеры колебательных систем. Модели колебательных систем и обобщенные координаты. Классификация колебательных систем, основные формы записи дифференциальных уравнений (ДУ) и систем ДУ для автономных и неавтономных сосредоточенных колебательных систем. Классификация внешних воздействий. Составление уравнений электрических систем. Символический метод составления уравнений динамических систем. Дуальные схемы. Составление уравнений в нормальной форме Коши непосредственно по виду электрической схемы. Составление уравнений схем с нелинейными управляемыми источниками. Уравнения параметрических систем. Замечания о символическом методе для распределенных систем. Основные свойства линейных неавтономных систем с сосредоточенными и распределенными постоянными, функция Грина. Связь символических коэффициентов передачи с комплексными.

### 2. Колебания в линейных консервативных системах

#### 2.1. Колебания в линейных консервативных системах

Колебания в линейных консервативных системах. Свободные колебания в линейных колебательных системах с двумя степенями свободы. Собственные частоты и коэффициенты распределения в линейных системах с двумя степенями свободы. Влияние начальных условий. Нормальные координаты. Колебания в ЛКС с 2 степенями свободы при гармоническом внешнем воздействии. Свободные и вынужденные колебания в ЛКС со многими степенями свободы, матричная формулировка уравнений и решений. Уравнения Лагранжа для консервативных систем. Замечания о колебаниях в линейных диссипативных системах с малыми потерями.

### 3. Описание движений в пространстве состояний. Устойчивость состояний равновесия

#### 3.1. Описание движений в пространстве состояний. Устойчивость состояний равновесия

Описание движений в автономных динамических системах. Состояния равновесия и исследование их устойчивости. Состояния равновесия и исследование их устойчивости (продолжение). Основные результаты Ляпунова по теории устойчивости состояний равновесия нелинейных систем. Классификация критериев устойчивости. Необходимый признак устойчивости линейных систем. Критерий Гурвица. Примеры применения алгебраических критериев устойчивости. Выдача задания на 3-ую часть типового расчета. Частотные методы исследования устойчивости. Метод D-разбиений, пример исследования устойчивости динамической системы с запаздыванием.

### 4. Метод фазового пространства теории нелинейных систем

#### 4.1. Метод фазового пространства теории нелинейных систем

Исследование нелинейных систем методом фазового пространства. Фазовые портреты и бифуркационные диаграммы систем с  $1/2$  степени свободы. Пример качественного исследования системы с  $1/2$  степени свободы. Периодические движения в нелинейных системах с  $1/2$  степени свободы, пример усилителя релаксационными автоколебаниями. Метод фазовой плоскости для анализа систем с одной степенью свободы. Метод фазовой плоскости для анализа систем с одной степенью свободы (продолжение), классификация особых точек на фазовой плоскости. Пример построения фазового портрета в окрестности состояния равновесия. Предельные циклы в динамических системах с одной степенью

свободы. Устойчивость в малом периодического движения. Грубые и особенные системы. Бифуркации рождения и исчезновения предельных циклов. Критерий Бендиксона. Особенности по-ведения фазовых траекторий в инкрементной и декрементной зонах. Пример качественного исследования автогенератора с трансформаторной обратной связью методом фазовой плоскости.

### 3.3. Темы практических занятий

1. Составление уравнений электрических систем. Символический метод составления уравнений динамических систем. Дуальные схемы. Составление уравнений в нормальной форме Коши непосредственно по виду электрической схемы. Составление уравнений схем с нелинейными управляемыми источниками;
2. Определение собственных частот и коэффициентов распределения в ЛКС с 2-мя степенями свободы;
3. Примеры применения алгебраических критериев устойчивости. Пример динамической системы (ЕТ) и исследование ее устойчивости. Модель индуктивной трехточки и исследование ее устойчивости;
4. Пример качественного исследования системы с  $1/2$  степени свободы. Пример построения фазового портрета в окрестности состояния равновесия. Пример качественного исследования автогенератора с трансформаторной обратной связью методом фазовой плоскости.

### 3.4. Темы лабораторных работ не предусмотрено

### 3.5 Консультации

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

1. Обсуждение материалов по сложным вопросам раздела "Составление уравнений движения колебательных систем"
2. Обсуждение материалов по сложным вопросам раздела "Колебания в линейных консервативных системах"
3. Обсуждение материалов по сложным вопросам раздела "Описание движений в пространстве состояний. Устойчивость состояний равновесия"
4. Обсуждение материалов по сложным вопросам раздела "Метод фазового пространства теории нелинейных систем"

#### Текущий контроль (ТК)

1. Консультации направлены на пояснение особенностей выполнения контрольных мероприятий по разделу "Составление уравнений движения колебательных систем"
2. Консультации направлены на пояснение особенностей выполнения контрольных мероприятий по разделу "Колебания в линейных консервативных системах"
3. Консультации направлены на пояснение особенностей выполнения контрольных мероприятий по разделу "Описание движений в пространстве состояний. Устойчивость состояний равновесия"
4. Консультации направлены на пояснение особенностей выполнения контрольных мероприятий по разделу "Метод фазового пространства теории нелинейных систем"

### 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	
<b>Знать:</b>						
сущность и проявления различных колебательных процессов и условия их возникновения и развития	ИД-3ПК-1	+				Расчетно-графическая работа/Расчетное задание №1 "Расчет переходных процессов в линейном контуре методом дифференциальных уравнений"
структуру различных колебательных систем, четкие представления об их отличительных особенностях и назначении отдельных частей и элементов	ИД-3ПК-1		+			Расчетно-графическая работа/Расчетное задание №2 "Расчет собственных частот и коэффициентов распределения свободных колебаний в системе с двумя степенями свободы"
<b>Уметь:</b>						
использовать фундаментальный характер основных положений теории колебаний для выработки научного подхода к решению новых проблем радиоэлектроники и разработке алгоритмов	ИД-3ПК-1			+		Контрольная работа/"Составление уравнений движения. Устойчивость состояний равновесия"
составлять и решать дифференциальные уравнения колебательных систем, исследовать устойчивость, исследовать нелинейные динамические системы методом фазового пространства	ИД-3ПК-1				+	Расчетно-графическая работа/Расчетное задание №3 "Анализ устойчивости состояний равновесия линеаризованных систем" Расчетно-графическая работа/Расчетные задания №4 "Исследование системы со 1/2 степенью свободы" и №5 "Построение фазовых портретов линейных динамических систем второго порядка"

## **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: Выполнение задания

1. Расчетное задание №1 "Расчет переходных процессов в линейном контуре методом дифференциальных уравнений" (Расчетно-графическая работа)
2. Расчетное задание №2 "Расчет собственных частот и коэффициентов распределения свободных колебаний в системе с двумя степенями свободы" (Расчетно-графическая работа)
3. Расчетное задание №3 "Анализ устойчивости состояний равновесия линеаризованных систем" (Расчетно-графическая работа)
4. Расчетные задания №4 "Исследование системы со  $\frac{1}{2}$  степенью свободы" и №5 "Построение фазовых портретов линейных динамических систем второго порядка" (Расчетно-графическая работа)

Форма реализации: Письменная работа

1. "Составление уравнений движения. Устойчивость состояний равновесия" (Контрольная работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

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

*Зачет с оценкой (Семестр №1)*

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

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

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

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

1. Стрелков С. П.- "Введение в теорию колебаний", (3-е изд., стер.), Издательство: "Лань", Санкт-Петербург, 2005 - (440 с.)  
[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_cid=25&pl1\\_id=603;](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=603)
2. Капранов, М. В. Теория колебаний в радиотехнике : учебное пособие для радиотехнических специальностей вузов / М. В. Капранов, В. Н. Кулешов, Г. М. Уткин . – М. : Наука, 1984 . – 320 с.;
3. Капранов, М. В. Анализ фазовых траекторий в окрестностях особых точек 2-D и 3-D нелинейных динамических систем : Учебное пособие по курсу "Теория колебаний" по направлениям 552500 и 654200 "Радиотехника" / М. В. Капранов, А. И. Томашевский, Моск. энерг. ин-т (МЭИ ТУ) . – М. : Изд-во МЭИ, 2003 . – 80 с. - ISBN 5-7046-1017-X ..

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

1. СДО "Прометей";
2. Office;
3. Windows;

4. MathCad;
5. Acrobat;
6. Майнд Видеоконференции.

### 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. Национальная электронная библиотека - <https://rusneb.ru/>
5. 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-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-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 каф. "ФОРС"	стеллаж, стол, стул
--	----------------------------------	---------------------

## БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

### Теория колебаний

(название дисциплины)

#### 1 семестр

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

- КМ-1 Расчетное задание №1 "Расчет переходных процессов в линейном контуре методом дифференциальных уравнений" (Расчетно-графическая работа)
- КМ-2 Расчетное задание №2 "Расчет собственных частот и коэффициентов распределения свободных колебаний в системе с двумя степенями свободы" (Расчетно-графическая работа)
- КМ-3 "Составление уравнений движения. Устойчивость состояний равновесия" (Контрольная работа)
- КМ-4 Расчетное задание №3 "Анализ устойчивости состояний равновесия линеаризованных систем" (Расчетно-графическая работа)
- КМ-5 Расчетные задания №4 "Исследование системы со  $\frac{1}{2}$  степенью свободы" и №5 "Построение фазовых портретов линейных динамических систем второго порядка" (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	8	12	13	15
1	Составление уравнений движения колебательных систем						
1.1	Составление уравнений движения колебательных систем		+				
2	Колебания в линейных консервативных системах						
2.1	Колебания в линейных консервативных системах			+			
3	Описание движений в пространстве состояний. Устойчивость состояний равновесия						
3.1	Описание движений в пространстве состояний. Устойчивость состояний равновесия				+		
4	Метод фазового пространства теор-ии нелинейных систем						
4.1	Метод фазового пространства теор-ии нелинейных систем					+	+
Вес КМ, %:			15	15	25	15	30