

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
**Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова**

Кафедра радиотехнических систем

**УТВЕРЖДАЮ**

Декан физического факультета  
  
(подпись) И.С. Огнев

«21» мая 2024 г.

**Рабочая программа дисциплины**  
**«Практикум по теории колебаний»**

Направление подготовки  
03.03.03 Радиофизика

Направленность (профиль)  
Технологии беспроводной связи

Форма обучения  
очная

Программа одобрена  
на заседании кафедры

от «18» апреля 2024 года, протокол № 8

Программа одобрена НМК  
физического факультета

протокол № 5 от «30» апреля 2024 года

Ярославль

### 1. Цели освоения дисциплины

Дисциплина направлена на закрепление теоретических навыков в исследовании колебательных процессов в динамических системах и формированию практических умений в решении подобных задач. Курс состоит из лабораторных работ, моделирующих типовые автономные и неавтономные колебательные системы. Теоретической основой для выполнения заданий курса является дисциплина "Теория колебаний".

### 2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина относится к базовой части Блока 1 и является частью модуля «Физика колебательных и волновых процессов».

Для освоения данной дисциплиной студенты должны владеть математическим аппаратом дифференциального исчисления, уметь решать основные типы дифференциальных уравнений, знать основы теории функций комплексного переменного.

В процессе освоения дисциплины используются знания, полученные при изучении дисциплин "Теория колебаний", "Радиоэлектроника", "Электричество и магнетизм", "Численные методы и математическое моделирование" и др.

Знания и навыки, полученные при изучении дисциплины, будут востребованы при изучении дисциплин "Теория частотного синтеза" и др., при выполнении научно-исследовательских работ.

### 3. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесённые с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО, ООП ВО и приобретения следующих знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности:

Формируемая компетенция (код и формулировка)	Индикатор достижения компетенции (код и формулировка)	Перечень планируемых результатов обучения
<b>Общепрофессиональные компетенции</b>		
ОПК-2. Способен проводить экспериментальные и теоретические научные исследования объектов, систем и процессов, обрабатывать и представлять экспериментальные данные.	ИД-ОПК-2.1. Осуществляет обоснованный выбор способов и средств измерений и применяет их при проведении экспериментальных исследований.	Знает методику практического исследования колебательных систем (линейных и нелинейных, автономных и неавтономных); принципы измерения и анализа движений в динамических системах; методику измерения и расчета параметров собственных и вынужденных колебаний, включая импульсную и переходную характеристики, параметры установившихся колебаний в генераторах и т.д. Умеет формировать идеализированное представление об объекте исследования и отбрасывать несущественные его свойства; строить, на основе сделанных идеализаций и допущений, математические модели динамических систем в форме обыкновенных дифференциальных уравнений; исследовать динамические системы путём практического измерения

Формируемая компетенция (код и формулировка)	Индикатор достижения компетенции (код и формулировка)	Перечень планируемых результатов обучения
		процессов; интерпретировать данные измерений в соответствии с теоретическими знаниями и построенными моделями; делать содержательные выводы о свойствах исследуемого объекта (или процесса), адекватности применяемой модели; вычислять на основе полученных результатов количественные характеристики динамических систем.
	ИД-ОПК-2.2. Проводит обработку и представление полученных данных и оценку погрешности результатов измерений.	Владеет методами и приёмами численного и аналитического анализа линейных и нелинейных колебаний в динамических системах; практическими навыками работы с измерительной аппаратурой.

#### 4. Объём, структура и содержание дисциплины

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 2 зачёт. ед., 72 акад. час.

№ п/п	Темы (разделы) дисциплины, их содержание	Семестр	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу студентов, и их трудоёмкость (в академических часах)						Формы текущего контроля успеваемости  Форма промежуточной аттестации (по семестрам)  Формы ЭО и ДОТ (при наличии)
			Контактная работа					самостоятельная работа	
			лекции	практические	лабораторные	консультации	аттестационные испытания		
1	Автономные колебательные системы (компьютерная модель)	7			2	1		0,7	Проверка полученных результатов, контроль выполнения теоретических и практических заданий
2	Автономные колебательные системы (лабораторный модуль)	7			6			2	Контроль выполнения теоретических и практических заданий
3	Колебательный контур с положительной обратной связью (компьютерная модель)	7			2			2	Проверка полученных результатов, контроль выполнения теоретических

									практических заданий
4	Колебательный контур с положительной обратной связью (лабораторный модуль).	7			7			2	Контроль выполнения теоретических и практических заданий
5	Исследование автономного LC-генератора, мягкий и жесткий режимы возбуждения (компьютерная модель)	7			3			2	Проверка полученных результатов, контроль выполнения теоретических и практических заданий
6	Исследование автономного LC-генератора, мягкий и жесткий режимы возбуждения (лабораторный модуль)	7			7			2	Контроль выполнения теоретических и практических заданий
7	Синхронизируемый LC-автогенератор (компьютерная модель)	7			3			2	Проверка полученных результатов, контроль выполнения теоретических и практических заданий
8	Синхронизируемый LC-автогенератор (лабораторный модуль)	7			7			2	Контроль выполнения теоретических и практических заданий
9	Изучение принципа фазовой автоподстройки частоты (компьютерная модель)	7			7			2	Проверка полученных результатов, контроль выполнения теоретических и практических заданий
10	Изучение принципа фазовой автоподстройки частоты (лабораторный модуль)	7			7	1		2	Контроль выполнения теоретических и практических заданий
	Аттестация промежуточная						0,3		Зачёт
	<b>ИТОГО</b>	<b>7</b>			<b>51</b>	<b>2</b>	<b>0,3</b>	<b>18,7</b>	<b>72</b>

#### Содержание разделов дисциплины:

В рамках курса предполагается выполнение 5 лабораторных работ, каждая из которых состоит из задания, выполняемого на компьютерной модели и задания, выполняемого на лабораторном модуле.

#### Лабораторная работа: Автономные колебательные системы

Раздел 1-2

#### Лабораторная работа: Колебательный контур с положительной обратной связью

Раздел 3-4

#### Лабораторная работа: Исследование автономного LC-генератора, мягкий и жесткий режимы возбуждения

Раздел 5-6

#### Лабораторная работа: Синхронизируемый LC-автогенератор

Раздел 7-8

#### Лабораторная работа: Изучение принципа фазовой автоподстройки частоты

**5. Образовательные технологии, в том числе технологии электронного обучения и дистанционные образовательные технологии, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине**

В процессе обучения используются следующие образовательные технологии:

**Лабораторные занятия**

Учебный процесс организован на базе лаборатории кафедры радиотехнических систем. Каждая лабораторная работа обеспечена макетом для исследования, комплектом методических указаний по выполнению работ, комплектом приборов для проведения практических измерений. Задания и исследования компьютерных моделей выполняются на базе ИКТ кафедры. Теоретические знания преподаются традиционно: доска, мел, тряпка. Контроль выполнения работ осуществляется поэтапно:

- на предварительном этапе – проверка теоретической подготовки, достаточной для выполнения лабораторной работы;
- на этапе компьютерного моделирования – выбор параметров, вида моделей, типов исследования;
- на этапе практического измерения параметров в соответствии с заданием работы – правильность подключения макета и приборов, контроль диапазонов измерения, видов подаваемых входных воздействий, типов выходных сигналов и т.д.
- на этапе обработки и представления студентами результатов эксперимента – соответствие полученных и рассчитанных значений;
- на заключительном этапе – предоставление студентом оформленной лабораторной работы, ответ на контрольные вопросы по теоретической и практической части.

**Консультация** – занятие, посвящённое консультациям по организации самостоятельной работы, ответам на вопросы студентов или разбору трудных тем.

**6. Перечень лицензионного и (или) свободно распространяемого программного обеспечения, используемого при осуществлении образовательного процесса по дисциплине**

В процессе осуществления образовательного процесса используются:

- для выполнения заданий по курсу - компьютерные модели динамических систем на основе специализированного программного обеспечения;
- для формирования текстов материалов для промежуточной и текущей аттестации – программы Microsoft Office, издательская система LaTeX;
- для поиска учебной литературы библиотеки ЯрГУ – Автоматизированная библиотечная информационная система "БУКИ-NEXT" (АБИС "Буки-Next").

**7. Перечень современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (при необходимости)**

В процессе осуществления образовательного процесса по дисциплине используются:

Автоматизированная библиотечно-информационная система «БУКИ-NEXT»  
[http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk\\_cat\\_find.php](http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_find.php)

**8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» (при необходимости), рекомендуемых для освоения дисциплины**

#### **а) основная литература**

1. Горяченко, В. Д., Элементы теории колебаний : учеб. пособие для вузов / В. Д. Горяченко. - 2-е изд., перераб. и доп., М., Высшая школа, 2001, 395с

#### **б) дополнительная литература**

1. Анищенко В. С. Регулярные и хаотические автоколебания: синхронизация и влияние флуктуаций.: [учебник-монография]. / В. С. Анищенко, В. В. Астахов, Т. Е. Вадивасова - Долгопрудный: Интеллект, 2009. - 311 с.
2. Андронов, А. А., Теория колебаний / А. А. Андронов, А. А. Витт, С. Э. Хайкин, М., Наука, 1981, 568с
3. Капранов М. В. Теория колебаний в радиотехнике: учеб. пособие для вузов. / М. В. Капранов, В. Н. Кулешов, Г. М. Уткин; М-во высш. и сред. спец. образования СССР - М.: Наука, 1984. - 320 с.
4. Основы теории колебаний: учеб. руководство. / В. В. Мигулин, В. И. Медведев, Е. Р. Мустель, В. Н. Парыгин; под ред. В. В. Мигулина - 2-е изд., перераб. - М.: Наука, 1988. - 392 с.
5. Казаков, Л. Н., Решение задач по курсу "Теория колебаний" : метод. указания / Л. Н. Казаков, А. В. Ходунин, Д. Э. Палей ; Яросл. гос. ун-т, Ярославль, ЯрГУ, 2011, 87с. Электронный вариант: <http://www.lib.uniyar.ac.ru/edocs/iuni/20110707.pdf>

#### **в) ресурсы сети «Интернет»**

1. Электронная библиотека учебных материалов ЯрГУ ([http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk\\_cat\\_find.php](http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_find.php)).

### **9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине**

Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине включает в свой состав специальные помещения:

- учебные аудитории для проведения лабораторных занятий;
- учебные аудитории для проведения групповых и индивидуальных консультаций,
- учебные аудитории для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации;
- помещения для самостоятельной работы;
- помещения для хранения и профилактического обслуживания технических средств обучения.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду организации.

Число посадочных мест в аудитории для лабораторных работ больше либо равно половине списочного состава группы обучающихся. (Для проведения лабораторных работ группа обучающихся делится на две подгруппы).

Автор:

Доцент кафедры радиотехнических систем, к.т.н.

Д.Э. Палей

**Приложение №1 к рабочей программе дисциплины  
«Практикум по теории колебаний»**

**Фонд оценочных средств  
для проведения текущей и промежуточной аттестации студентов  
по дисциплине**

**1. Типовые контрольные задания и иные материалы,  
используемые в процессе текущего контроля успеваемости**

**Задания для самостоятельной работы**

**Задания по теме № 1. Автономные колебательные системы (компьютерная модель)**

- 1.1. Получить математическую модель контура - дифференциальное уравнение.
- 1.2. Определить по заданным параметрам контура тип особой точки в состоянии равновесия.
- 1.3. Показать движение системы на фазовой плоскости из указанных начальных условий, объяснить вид фазового портрета.

**Задания по теме № 2. Автономные колебательные системы (лабораторный модуль)**

- 2.1. Выполнить отчет по практическим измерениям, полученным в ходе выполнения работы.
- 2.2. Объяснить качественно вид полученных графиков (ФЧХ, амплитудная характеристика).
- 2.2. Рассчитать параметры контура в лабораторном макете по АЧХ (добротность, резонансное сопротивление и т.д.).
- 2.4. Объяснить тип и параметры переходных процессов, исследованных в ходе выполнения работы.

**Задания по теме № 3. Колебательный контур с положительной обратной связью (компьютерная модель)**

- 3.1. Получить математическую модель.
- 3.2. Объяснить физический смысл эквивалентной добротности и эквивалентного сопротивления.
- 3.3. Показать на фазовой плоскости зависимость фазового портрета от величины обратной связи.
- 3.4. Рассчитать зависимость эквивалентной добротности от величины обратной связи. Подтвердить на компьютерной модели.

**Задания по теме № 4. Колебательный контур с положительной обратной связью (лабораторный модуль).**

- 4.1. Выполнить отчет по практическим измерениям, полученным в ходе выполнения работы.
- 4.2. Объяснить качественно вид полученных графиков (ФЧХ, амплитудная характеристика).
- 4.2. Рассчитать параметры контура в лабораторном макете по АЧХ (эквивалентную добротность, резонансное сопротивление и т.д.) в зависимости от величины обратной связи.
- 4.4. Объяснить тип и параметры переходных процессов, исследованных в ходе выполнения работы в зависимости от величины обратной связи.

**Задания по теме № 5. Исследование автономного LC-генератора, мягкий и жесткий режимы возбуждения (компьютерная модель)**

- 5.1. Получить на компьютерной модели автоколебания с мягким режимом возбуждения. Объяснить выбор рабочей точки.
- 5.2. Получить на компьютерной модели автоколебания с жестким режимом возбуждения. Объяснить выбор рабочей точки.
- 5.3. Получить бифуркационное значение коэффициента обратной связи при котором возникает устойчивый предельный цикл (выполняются условия самовозбуждения).
- 5.4. Исследовать зависимость минимальной амплитуды колебаний в генераторе с жестким возбуждением от параметров системы.

**Задания по теме № 6. Исследование автономного LC-генератора, мягкий и жесткий режимы возбуждения (лабораторный модуль)**

- 6.1. Выполнить отчет по практическим измерениям, полученным в ходе выполнения работы.
- 6.2. Получить математическую модель генератора.
- 6.3. Показать при каких условиях в генераторе наблюдается режим мягкого возбуждения. Обосновать график зависимости амплитуды колебаний от параметров макета.
- 6.4. Показать при каких условиях в генераторе наблюдается режим жесткого возбуждения. Обосновать график зависимости амплитуды колебаний от параметров макета.
- 6.5. Определить значение рабочей точки, при которой происходит бифуркация возникновения неустойчивого предельного цикла (генератор переходит в жесткий режим возбуждения).

**Задания по теме № 7. Синхронизируемый LC-автогенератор (компьютерная модель)**

- 7.1. Получить на компьютерной модели, синхронизированные под внешнее воздействие, автоколебания для генератора с мягким режимом возбуждения.
- 7.2. Исследовать на компьютерной модели полосу синхронизма в зависимости от параметров системы и амплитуды входного сигнала. Объяснить полученные результаты.
- 7.3. Исследовать поведение генератора при асинхронном воздействии. Получить зависимость амплитуды колебаний от амплитуды входного сигнала. Объяснить полученные результаты.

**Задания по теме № 8. Синхронизируемый LC-автогенератор (лабораторный модуль)**

- 8.1. Выполнить отчет по практическим измерениям, полученным в ходе выполнения работы.
- 8.2. Получить математическую модель генератора при наличии внешнего воздействия.
- 8.3. Объяснить полученные графики (полоса синхронизма, зависимость амплитуды колебаний от частотной расстройки).
- 8.4. Сравнить практические и расчетные значения. Объяснить результат.

**Задания по теме № 9. Изучение принципа фазовой автоподстройки частоты (компьютерная модель)**

- 9.1. Исследовать на компьютерной модели полосу захвата для различных параметров системы.
- 9.2. Доказать на фазовой плоскости, что существуют области начальных условий, откуда невозможен синхронизм при расстройках больше полосы захвата.
- 9.3. Построить зависимость полосы захвата от заданного параметра системы.

**Задания по теме № 10. Изучение принципа фазовой автоподстройки частоты (лабораторный модуль)**

- 10.1. Выполнить отчет по практическим измерениям, полученным в ходе выполнения работы.



- 10.2. Получить математическую модель системы ФАПЧ с заданным фильтром.  
 10.3. Объяснить зависимость полосы захвата от коэффициента усиления в системе  
 10.4. Объяснить зависимость полосы захвата от параметров контура.

### Лабораторные работы

В качестве контроля выступают отчёт по лабораторной работе и его защита. Критерии оценивания объединены вместе с критериями оценивания самостоятельной работы в процессе подготовки к выполнению работы, обработки результатов, составления отчёта и формулировки выводов.

#### Критерии оценивания заданий для самостоятельной работы, отчётов по лабораторным работам и защиты работ

Критерий	Пороговый уровень	Продвинутый уровень	Высокий уровень
<b>Качество модели</b>	Адекватная объекту исследований и заданным условиям	Адекватная объекту исследований и заданным условиям	Адекватная объекту исследований и заданным условиям
<b>Методика</b>	Соблюдена не полностью, есть отступления, повлекшие погрешности или выход в режимы, не описываемые моделью	Соблюдена, однако выясняется, что студент не понимает, почему именно предписанные действия следует предпринимать	Соблюдена полностью и осмысленно
<b>Отчёт</b>	Имеет 1-2 недостатка, однако в целом соответствует требованиям к отчёту по лабораторным работам и читабелен	Имеет некоторые незначительные недостатки в оформлении или представлении результатов	Соответствует всем требованиям к отчёту по лабораторным работам, аккуратно оформлен
<b>Результаты исследования</b>	В целом соответствуют заданию и адекватны объекту, однако погрешность результатов не контролировалась	Соответствуют заданию, адекватны объекту, имеется статистическая обработка результатов	Полностью соответствуют заданию, корректно отображают объект исследования в заданных условиях, погрешность контролировалась, обработка результатов проведена
<b>Объяснения и выводы</b>	Объяснения отрывочны, выводы бессодержательные, причины расхождения с теорией (если требовалось) не объяснены	В объяснениях есть гипотезы и аргументы в их пользу, однако не продемонстрировано уверенное владение методологией и терминологией в данной области	Объяснения проводятся с отсылками к наименованиям и формулировкам законов, указанием методов, аргументация логичная, сделанные выводы соответствуют свойствам исследуемого объекта
<b>Ответы на вопросы при допуске и</b>	Правильные ответы на большинство вопросов, однако, излишне краткие или с	Полные ответы практически на все вопросы с незначительными	Развёрнутые, корректные ответы на все вопросы, с отсылками к наименованиям и

<b>защите</b>	ошибками в терминологии.	недостатками и некоторой нехваткой терминологической лексики	формулировкам законов, указанием методов, аргументация логичная.
---------------	--------------------------	--	--

## **2 Список вопросов и (или) заданий для проведения промежуточной аттестации**

Зачёт выставляется за выполненные и успешно защищённые лабораторные работы.

Подготовка к выполнению работы, обработка результатов, отчёт по работе и защита работы оцениваются по критериям, приведённым в п. 1.

## **3. Описание процедуры выставления оценки**

В зависимости от уровня сформированности каждой компетенции по окончании освоения дисциплины студенту выставляется оценка.

Компетенция считается сформированной на пороговом уровне, если выполнены и успешно защищены все лабораторные работы. Для других уровней см. критерии, приведённые в п. 1 и 2.

Оценка «зачтено» выставляется студенту, у которого каждая компетенция (полностью или частично формируемая данной дисциплиной) сформирована не ниже, чем на пороговом уровне.

Оценка «незачтено» выставляется студенту, у которого хотя бы одна компетенция (полностью или частично формируемая данной дисциплиной) сформирована ниже, чем на пороговом уровне.

## **Приложение №2 к рабочей программе дисциплины «Практикум по теории колебаний»**

### **Методические указания для студентов по освоению дисциплины**

Дисциплина направлена на закрепление теоретических навыков в исследовании колебательных процессов в динамических системах и формированию практических умений в решении подобных задач. Лабораторные работы курса повторяют типовые автономные и неавтономные колебательные системы, изучаемые в дисциплине "Теория колебаний", которая является теоретической основой для выполнения заданий практикума.

Для успешного выполнения заданий курса студентам необходимо полностью освоить советующий теоретический материал курса.. Все практические задания курса предварительно обсуждаются с преподавателем и затем самостоятельно выполняются каждым студентом на компьютерной модели и лабораторном оборудовании.

Каждая лабораторная работа с одной стороны на практике повторяет аналитический подход к исследованию динамических систем, с другой позволяет качественно и количественно оценить адекватность изучаемых математических моделей динамических систем.

Проверка и контроль выполнения заданий осуществляется на каждом лабораторном занятии при проверке и разборе результатов компьютерных или практических экспериментов. Также проводятся консультации (при необходимости) по разбору заданий, которые вызвали затруднения.

По итогам сдачи лабораторных работ в конце семестра преподаватель выставляет студентам оценку по дисциплине

Посещение всех лабораторных занятий является совершенно необходимым. Без упорных и регулярных занятий в течение семестра получить зачёт по итогам изучения дисциплины студенту практически невозможно.