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

Кафедра радиотехнических систем

УТВЕРЖДАЮ

Декан физического факультета
_____ И.С. Огнев
(подпись)

«17» мая 2022 г.

Рабочая программа дисциплины
«Практикум по теории колебаний»

Направление подготовки
03.03.03 Радиофизика

Направленность (профиль)
Телекоммуникационные системы и технологии

Форма обучения
очная

Программа одобрена
на заседании кафедры
от «13» апреля 2022 года, протокол № 8

Программа одобрена НМК
физического факультета
протокол № 5 от «11» мая 2022 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**
Общепрофессиональные компетенции		
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 и

									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
	ИТОГО	***7***			**51**	**2**	**0,3**	**18,7**	**72**

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

Раздел 9-10

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

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).

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 их указанных начальный 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 придельного 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
Качество модели	Адекватная объекту исследований и заданным условиям	Адекватная объекту исследований и заданным условиям	Адекватная объекту исследований и заданным условиям
Методика	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
Отчёт	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
Результаты исследования	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
Объяснения и выводы	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
Ответы на вопросы при допуске и	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

защите	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.