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
«Теория 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

Целями освоения дисциплины являются основы качественного и количественного анализа периодических процессов в динамических системах. Данный курс вырабатывает у студентов навыки исследования колебательных систем на основе моделей в форме обыкновенных дифференциальных уравнений, дальнейшее изучение их с применением аналитическими или численными методов.

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 изучения курса используются знания, полученные при изучении дисциплин "Радиоэлектроника", "Электричество и магнетизм" " Численные методы и математическое моделирование "и др. Знания и навыки, полученные при изучении дисциплины, будут востребованы при изучении дисциплин модулей "Физика колебательных и волновых процессов" и "Электроника", при выполнении курсовых и дипломных работ, а также для продолжения обучения в магистратуре по направлению Радиофизика.

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-1. Способен применять базовые знания в области физики и радиофизики и использовать их в профессиональной деятельности, в том числе в сфере педагогической деятельности.	ИД-ОПК-1.1 Осуществляет постановку задачи, выбирает способ её решения.	Знать качественные методы исследования колебательных систем; линейные и нелинейные колебательные системы, автоколебательные системы, колебательные системы со многими степенями свободы, вынужденные колебания, параметрическое воздействие, усиление и генерация колебаний, хаотические колебания
	ИД-ОПК-1.2 Применяет математический аппарат, физические законы и теории для решения прикладных и теоретических задач, в том числе педагогической деятельности.	Уметь формировать идеализированное представление об объекте и отбрасывать несущественные его свойства; строить математические модели объектов в форме обыкновенных дифференциальных уравнений и уравнений в частных производных на основе сделанных идеализаций и допущений; исследовать модели объектов численными или аналитическими средствами; делать содержательные технические или физические выводы о свойствах исследуемого объекта (или процесса). Владеть методами и приёмами анализа линейных и нелинейных колебаний в динамических системах.

4. Объём, структура и содержание дисциплины

Общая трудоёмкость дисциплины составляет **5** зачёт. ед., **180** акад. час. из них:
2 зачёт. ед., **72** акад. час. – 6 семестр;
3 зачёт. ед., **108** акад. час. – 7 семестр.

№ 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						
			лекции	практические	лабораторные	консультации	аттестационные испытания	самостоятельная работа	
1	Введение в дисциплину	6	2	1				1	Задания для самостоятельной работы
2	Устойчивость состояний равновесия автономных систем.	6	4	2		1		1	Задания для самостоятельной работы
3	Качественные методы исследования нелинейных автономных систем с одной степенью свободы.	6	2	2				1	Задания для самостоятельной работы Самостоятельная работа N1
4	Консервативные системы с одной степенью свободы.	6	2	1		1		1	Задания для самостоятельной работы Самостоятельная работа N2
5	Диссипативные системы с постоянным трением	6	2					1	Задания для самостоятельной работы
6	Автоколебательные системы с одной степенью свободы.	6	2	2		1		2	Задания для самостоятельной работы Самостоятельная работа N3
7	Элементы теории бифуркаций.	6	2					1	Задания для самостоятельной работы
8	Основные положения метода Ван-дер-Поля.	6	4	1		1		1	Задания для самостоятельной работы
9	Основы теории автономного генератора	6	6	2				1	Задания для самостоятельной работы
10	Основные положения метода гармонической линеаризации	6	2	2		1		2	Задания для самостоятельной работы Самостоятельная работа N4
11	Метод разрывных колебаний и его применение для анализа релаксационных генераторов.	6	2	2				1	Задания для самостоятельной работы
12	Вынужденные колебания в системе с одной степенью свободы.	6	4	2		1		2	Задания для самостоятельной работы Контрольная работа N1
	Всего за 6 семестр		**34**	**17**		**6**		**15**	**72** (без промежуточной аттестации)

№ 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						
			лекции	практические	лабораторные	консультации	аттестационные испытания	самостоятельная работа	
	Введение								Задания для самостоятельной работы
13	Автоколебательные системы при периодическом внешнем воздействии.	7	6	6				0,25	Задания для самостоятельной работы Самостоятельная работа N5
14	Метод точечных преобразований	7	6	6				0,25	Задания для самостоятельной работы Самостоятельная работа N6
15	Автоколебательные системы в радиотехнике	7	3	3				0,25	Задания для самостоятельной работы
16	Колебательные системы с двумя степенями свободы.	7	6	6				0,25	Задания для самостоятельной работы Самостоятельная работа N7
17	Параметрические колебательные системы	7	6	6		1		0,25	Задания для самостоятельной работы Самостоятельная работа N8
18	Колебательные системы цилиндрического типа.	7	3	3		1		0,25	Задания для самостоятельной работы
19	Хаотические колебания.	7	4	4				0,5	Задания для самостоятельной работы Контрольная работа N2
	Аттестация промежуточная	7				2	0,5	33,5	Экзамен
	Всего за 7 семестр		**34**	**34**		**4**		**35,5**	**108**
	ИТОГО		**68**	**51**		**10**	**0,5**	**50,5**	**180**

Содержание разделов дисциплины:

1	Введение в дисциплину
1.1	Теория колебаний - ветвь прикладной математики. Общие положения теории колебаний. Предмет теории колебаний. Исторические сведения. Место теории колебаний в современной радиофизике и электронике. Теория колебаний – ветвь прикладной математики. Классификация динамических систем. Типы колебаний. Примеры колебательных систем и процессов. Понятия фазовой плоскости и интегральной кривой. Краткие сведения о преобразо-

	вании Лапласа.
2	Устойчивость состояний равновесия автономных систем.
2.1	Второй метод Ляпунова. Оценка области притяжения.
2.2	Метод исследования устойчивости по первому приближению. Критерий Гурвица. Метод D-разбиений.
3	Качественные методы исследования нелинейных автономных систем с одной степенью свободы.
3.1	Типы и устойчивость состояний равновесия. Замкнутые фазовые траектории. Индексы Пуанкаре. Критерии отсутствия замкнутых фазовых траекторий.
4	Консервативные системы с одной степенью свободы
4.1	Качественное исследование на фазовой плоскости. Консервативная система с периодической нелинейностью.
5	Диссипативные системы с постоянным трением
5.1	Качественное исследование на фазовой плоскости. Диссипативная система с периодической нелинейностью.
6	Автоколебательные системы с одной степенью свободы.
6.1	Исследование решения уравнения Ван-дер-Поля на фазовой плоскости и вторым методом Ляпунова.
7	Элементы теории бифуркаций
7.1	Понятие грубости динамической системы. Основы теории бифуркаций. Простейшие бифуркации колебательных систем с одной степенью свободы. Бифуркации, не связанные с рождением предельных циклов. Бифуркации, связанные с рождением предельных циклов.
8	Основные положения метода Ван-дер-Поля
8.1	Основные положения метода Ван-дер-Поля. Системы укороченных уравнений. Исследование зависимости частоты колебаний от амплитуды в консервативной системе.
9	Основы теории автономного генератора
9.1	Математическое описание автономного генератора Ван-дер-Поля. Система укороченных уравнений.
9.2	Мягкий и жесткий режимы возбуждения автоколебаний. Исследование амплитуды и частоты автоколебаний.
9.3	Исследование переходных режимов в генераторе Ван-дер-Поля.
10	Основные положения метода гармонической линеаризации
10.1	Основные положения метода гармонической линеаризации. Устойчивость периодических движений. Расчет амплитуды и частоты автоколебаний на выходе генератора Ван-дер-Поля. Расчет амплитуды и частоты автоколебаний в следящей системе.
11	Метод разрывных колебаний и его применение для анализа релаксационных генераторов
11.1	Основные положения метода разрывных колебаний. Быстрые и медленные движения. Условия несущественности малого параметра. Разрывные предельные циклы. Релаксационный генератор.
12	Вынужденные колебания в системе с одной степенью свободы.
12.1	Нелинейный резонанс. Вынужденные колебания в системе с нелинейной восстанавливающей силой. Уравнение Дуффинга. Применение метода Ван-дер-Поля. Вывод уравнения резонансной кривой. Устойчивость периодических режимов. Явление скачка.
13	Автоколебательные системы при периодическом внешнем воздействии.
13.1	Генератор Ван-дер-Поля при периодическом внешнем воздействии. Вид и параметры резонансных кривых в зависимости от расстройки. Устойчивость колебаний.

13.2	Асинхронное воздействие. Явление тушения колебаний. Зависимость амплитуды установившихся колебаний для мягкой и жесткой колебательных характеристик активного элемента.
13.3	Воздействие с частотой, близкой к частоте автономного генератора. Уравнение синхронизации. Явление захвата частоты. Полоса захвата. Синхронизация на кратных и субкратных частотах. Деление и умножение частоты.
14	Метод точечных преобразований
14.1	Основные положения метода. Поверхность без контакта. Устойчивость. Диаграмма Ламерея и теорема Кёнигса
14.2	Пример применения метода к исследованию автогенератора Ван-дер-Поля с Z характеристикой
14.3	Теория часов с сухим трением.
15	Автоколебательные системы в радиотехнике
15.1	Типы генераторов. (RC-генератор. Индуктивная и емкостная трехточка). Математический модели. Условия самовозбуждения. Устойчивость стационарных колебаний.
16	Колебательные системы с двумя степенями свободы
16.1	Асинхронные колебания в связанных генераторах. Одночастотный режим. Двухчастотный режим. Исследование методом Ван-дер-Поля и на фазовой плоскости.
16.2	Взаимная синхронизация двух генераторов с близкими частотами. Явление взаимной синхронизации. Расчет частоты взаимной синхронизации.
16.3	Динамика биологических систем. Модель "хищник-жертва". Конкуренция видов.
17	Параметрические колебательные системы
17.1	Математическое описание параметрических систем. Уравнения Хилла и Матье. Основы теории Флоке. Устойчивость. Параметрический резонанс.
17.2	Линейная система с одной степенью свободы. Недовозбужденный режим. Режим возбуждения.
17.3	Исследование методом Ван-дер-Поля и на фазовой плоскости. Эквивалентная добротность. Синхронное и асинхронное воздействие.
18.	Колебательные системы цилиндрического типа
12.1	Математическое описание колебательных систем с периодической нелинейностью. Примеры систем с синусоидальной нелинейностью. Линейный анализ. Типы и устойчивость особых точек. Нелинейный анализ. Качественный анализ системы фазовой автоподстройки частоты. Основные бифуркации. Полоса захвата.
19.	Хаотические колебания
19.1	Общие понятия динамического хаоса. Хаотические колебания. Чувствительность к изменению начальных условий. Фурье-спектр.
19.2	Сценарии возникновения хаотических колебаний. Примеры моделей, приводящих к хаотическим колебаниям.

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:

Вводная лекция – даёт первое целостное представление о дисциплине и ориентирует студента в системе изучения данной дисциплины. Студенты знакомятся с назначением и задачами курса, его ролью и местом в системе учебных дисциплин и в системе подготовки в целом. Даётся краткий обзор курса, история развития науки и практики, достижения в этой сфере, имена известных учёных, излагаются перспективные направления исследований. На этой лекции высказываются методические и организационные особенности работы в рамках данной дисциплины, а также даётся анализ рекомендуемой учебно-методической литературы.

Академическая лекция (или лекция общего курса) – последовательное изложение материала, осуществляемое преимущественно в виде монолога преподавателя. Требования к академической лекции: современный научный уровень и насыщенная информативность, убедительная аргументация, доступная и понятная речь, чёткая структура и логика, наличие ярких примеров, научных доказательств, обоснований, фактов.

Практическое занятие – занятие, посвященное освоению конкретных умений и навыков и закреплению полученных на лекции знаний. Выработка у студентов навыков и практики применения теории к анализу конкретных видов систем. Решение типовых задач, в том числе связанных с анализом конкретных типов радиотехнических систем.

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

В процессе осуществления образовательного процесса используются:

– 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
2. 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

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. Радиотехнические цепи и сигналы : примеры, задачи : учеб. пособие для вузов / под ред. И. С. Гоноровского, М., Радо и связь, 1989, 248с
5. Сборник задач по теории колебаний: учеб. пособие для вузов. / под ред. Л. В. Постникова и В. И. Королева; М-во высш. и сред. спец. образования СССР - М.: Наука, 1978. - 271 с.

6. 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.

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 занятий лекционного типа и практических занятий (семинаров);
- 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.

Специальные помещения укомплектованы средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории.

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 лекционной аудитории больше либо равно списочному составу потока, а в аудитории для практических занятий (семинаров) – списочному составу группы обучающихся.

Автор:

Доцент кафедры радиотехнических систем, к.т.н. Д.Э. Палей

Приложение №1 к рабочей программе дисциплины
«Теория 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 Введение в дисциплину

Раздел 1.1 Задания из раздела "1.3 Задачи" в главе № 1 методических указаний "Решение задач по курсу Теория колебаний"(Л.Н. Казаков, А.В. Ходунин, Д.Э. Палей / ЯрГУ, 2011)

Задания по теме № 2 Устойчивость состояний равновесия автономных систем.

Раздел 2.1 Задания из раздела "2.3 Задачи" в главе № 2 методических указаний "Решение задач по курсу Теория колебаний"(Л.Н. Казаков, А.В. Ходунин, Д.Э. Палей / ЯрГУ, 2011)

Раздел 2.2 Задания из раздела "3.3 Задачи" в главе № 3 методических указаний "Решение задач по курсу Теория колебаний"(Л.Н. Казаков, А.В. Ходунин, Д.Э. Палей / ЯрГУ, 2011)

Задания по теме № 3 Качественные методы исследования нелинейных автономных систем с одной степенью свободы.

Раздел 3.1 Задания из раздела "4.3 Задачи" в главе № 4 методических указаний "Решение задач по курсу Теория колебаний"(Л.Н. Казаков, А.В. Ходунин, Д.Э. Палей / ЯрГУ, 2011)

Задания по теме № 4 Консервативные системы с одной степенью свободы

Раздел 4.1 Задания 2.26-2.30 из раздела "Задачи" в главе № 2 учебника . Горяченко В.Д. "Элементы теории колебаний" (М.: Высшая школа, 2001).

Задания по теме № 7 Элементы теории бифуркаций

Раздел 7.1 Задания 2.38-2.46 из раздела "Задачи" в главе № 2 учебника. Горяченко В.Д. "Элементы теории колебаний" (М.: Высшая школа, 2001).

Задания по теме № 8 Основные положения метода Ван-дер-Поля

Раздел 8.1 Задания 1-6 из раздела "5.3 Задачи" в главе № 5 методических указаний "Решение задач по курсу Теория колебаний"(Л.Н. Казаков, А.В. Ходунин, Д.Э. Палей / ЯрГУ, 2011)

Задания по теме № 9 Основы теории автономного генератора

Раздел 9.1 Задания 14-16 из раздела "5.3 Задачи" в главе № 5 методических указаний "Решение задач по курсу Теория колебаний"(Л.Н. Казаков, А.В. Ходунин, Д.Э. Палей / ЯрГУ, 2011)

Задания по теме № 10 Основные положения метода гармонической линеаризации

Раздел 10.1 Задания из раздела "7.3 Задачи" в главе № 7 методических указаний "Решение задач по курсу Теория колебаний"(Л.Н. Казаков, А.В. Ходунин, Д.Э. Палей / ЯрГУ, 2011)

Задания по теме № 11 Метод разрывных колебаний и его применение для анализа релаксационных генераторов

Раздел 11.1 Задания из раздела "6.3 Задачи" в главе № 6 методических указаний "Решение задач по курсу Теория колебаний"(Л.Н. Казаков, А.В. Ходунин, Д.Э. Палей / ЯрГУ, 2011)

Задания по теме № 12 Вынужденные колебания в системе с одной степенью свободы.

Раздел 12.1 Задания 1-8 из раздела "8.3 Задачи" в главе № 8 методических указаний "Решение задач по курсу Теория колебаний"(Л.Н. Казаков, А.В. Ходунин, Д.Э. Палей / ЯрГУ, 2011)

Задания по теме № 13 Автоколебательные системы при периодическом внешнем воздействии.

Раздел 13.1 Задания 9-15 из раздела "8.3 Задачи" в главе № 8 методических указаний "Решение задач по курсу Теория колебаний"(Л.Н. Казаков, А.В. Ходунин, Д.Э. Палей / ЯрГУ, 2011)

Задания по теме № 15 Автоколебательные системы в радиотехнике

Раздел 15.1 1 Задания 2.26-2.35, 2.74-2.77 из "Сборника задач по теории колебаний" (Под ред. Постникова Л.В. М.: Наука, 1978. 272 с.)

Задания по теме № 16 Колебательные системы с двумя степенями свободы

Раздел 16.1 Задания 3.39,3.40,3.41 из "Сборника задач по теории колебаний" (Под ред. Постникова Л.В. М.: Наука, 1978. 272 с.)

Раздел 16.2 Задания 3.50,3.51,3.52 из "Сборника задач по теории колебаний" (Под ред. Постникова Л.В. М.: Наука, 1978. 272 с.)

Раздел 16.3 Задания 5.1-5.2 из раздела "Задачи" в главе № 5 учебника . Горяченко В.Д. "Элементы теории колебаний" (М.: Высшая школа, 2001).

Задания по теме № 17 Параметрические колебательные системы

Раздел 17.2 Задания 1-4 из раздела "9.3 Задачи" в главе № 9 методических указаний "Решение задач по курсу Теория колебаний"(Л.Н. Казаков, А.В. Ходунин, Д.Э. Палей / ЯрГУ, 2011)

Раздел 17.3 Задания 5-8 из раздела "9.3 Задачи" в главе № 9 методических указаний "Решение задач по курсу Теория колебаний"(Л.Н. Казаков, А.В. Ходунин, Д.Э. Палей / ЯрГУ, 2011)

Критерии оценивания решения задач заданий для самостоятельной работы

Показатели	Критерии
Понимание условия задачи	– Краткая запись условия. – Использование физической символики. – Запись единиц измерения и перевод их в СИ – Хорошее оформление работы, четкие рисунки и чертежи.

Показатели	Критерии
	– Нахождение и запись необходимых табличных и дополнительных данных.
План решения задачи	– Обоснование выбора физических формул для решения. – Рациональный способ решения – Запись формул
Осуществление решения	– Вывод расчетных(ой) формул(ы), решение задачи в общем виде – Математические операции с единицами измерения физических величин, вычисления
Правильность решения задачи	– Краткое объяснение решения. – Анализ полученных результатов

Шкала оценивания:
0 баллов – полное отсутствие критерия;
1 балл – частичное выполнение критерия;
2 балла – полное выполнение критерия
Суммируются баллы за каждую задачу.
Оценка проставляется по количеству набранных баллов:
менее 60% от максимально возможного количества баллов - неудовлетворительно,
60-75% от максимально возможного количества баллов - удовлетворительно,
76-85% от максимально возможного количества баллов - хорошо,
86-100% от максимально возможного количества баллов – отлично.

Самостоятельная работа № 1

(проверка ОПК-1 (в части умений применения 2-го метода Ляпунова для исследования устойчивости))

Задание

Исследуйте устойчивость нулевого состояния равновесия 2-м методом Ляпунова

Задание 1

$$\begin{cases} \dot{x} = -5y - x^3 \\ \dot{y} = 2x - y^3 \end{cases}$$

Задание 2

$$\begin{cases} \dot{x} = 2y + x^3 \\ \dot{y} = -2x + y^3 \end{cases}$$

Правила выставления оценки по результатам самостоятельной работы:

Оценка по результатам самостоятельной работы считается в баллах по следующему принципу:

задание №1 – верный подбор функции Ляпунова, правильное исследование устойчивости, верный вывод - 2 балла.

задание №2 – верный подбор функции Ляпунова, правильное исследование устойчивости, верный вывод - 2 балла.

Каждое из заданий может быть оценено половиной заявленных по нему баллов, в случае, если функция Ляпунова выбрана верно, но допущены ошибки в исследовании устойчивости или выводе по итогам расчета.

Полностью неправильно выполненное задание - 0 баллов.

Максимальное количество баллов по итогам самостоятельной работы – 4 балла,

Набранное количество баллов 4 соответствует формированию на данном этапе освоения дисциплины проверяемых умений на высоком уровне, 3 балла – на продвинутом уровне, 2 баллов – на пороговом уровне, менее 2 баллов – умения не сформированы.

Самостоятельная работа № 2

(проверка ОПК-1 (в части умений применения 2-го метода Ляпунова для исследования областей притяжения и применения теоремы Четаева для исследования устойчивости))

Задание 1

Исследуйте устойчивость нулевого состояния равновесия 2-м методом Ляпунова. Найдите области притяжения.

$$\begin{cases} \dot{x} = -2x^3(1+y) + 3y^3 \\ \dot{y} = -3y^3 - 3x\,y^2 \end{cases}$$

Задание 2

Исследуйте устойчивость нулевого состояния равновесия 2-м методом Ляпунова (используйте теорему Четаева)

$$\begin{cases} \dot{x} = -2x^3 + 5y^3 \\ \dot{y} = 5x^3 + 2y\,x^2 \end{cases}$$

Правила выставления оценки по результатам самостоятельной работы:

Оценка по результатам самостоятельной работы считается в баллах по следующему принципу:

задание №1 – верный подбор функции Ляпунова, верное исследование устойчивости, верное определения области притяжения/отталкивания - 2 балла.

задание №2 – верный подбор функции Ляпунова (по условиям теоремы Четаева), верный выбор области исследования, правильное исследование неустойчивости, верный вывод - 2 балла.

Каждое из заданий может быть оценено половиной заявленных по нему баллов, в случае, если функция Ляпунова выбрана верно, но допущены ошибки в исследовании устойчивости или выводе по итогам расчета.

Полностью неправильно выполненное задание - 0 баллов.

Максимальное количество баллов по итогам самостоятельной работы – 4 балла,

Набранное количество баллов 4 соответствует формированию на данном этапе освоения дисциплины проверяемых умений на высоком уровне, 3 балла – на продвинутом уровне, 2 баллов – на пороговом уровне, менее 2 баллов – умения не сформированы.

Самостоятельная работа № 3

(проверка ОПК-1 (в части умений применения 2-го метода Ляпунова для исследования областей притяжения))

Задание 1

Исследуйте устойчивость нулевого состояния равновесия 2-м методом Ляпунова. Найдите область притяжения.

$$\begin{cases} \dot{x} = -y - 3x + (3x^2 + 2y^2)x \\ \dot{y} = x - 3y + (3x^2 + 2y^2)y \end{cases}$$

Задание 2

Исследуйте устойчивость нулевого состояния равновесия 2-м методом Ляпунова. Найдите область притяжения.

$$\begin{cases} \dot{x} = y + x(2 + y)(x^2 + y^2 - 9) \\ \dot{y} = -x + y(2 + y)(x^2 + y^2 - 9) \end{cases}$$

Правила выставления оценки по результатам самостоятельной работы:

Оценка по результатам самостоятельной работы считается в баллах по следующему принципу:

задание №1, №2 – верный подбор функции Ляпунова, верное исследование устойчивости, верное определения области притяжения/отталкивания - 2 балла.

Каждое из заданий может быть оценено половиной заявленных по нему баллов, в случае, если функция Ляпунова выбрана верно, но допущены ошибки в исследовании устойчивости или выводе по итогам расчета.

Полностью неправильно выполненное задание - 0 баллов.

Максимальное количество баллов по итогам самостоятельной работы – 4 балла,

Набранное количество баллов 4 соответствует формированию на данном этапе освоения дисциплины проверяемых умений на высоком уровне, 3 балла – на продвинутом уровне, 2 баллов – на пороговом уровне, менее 2 баллов – умения не сформированы.

Самостоятельная работа № 4

(проверка ОПК-1 (в части умений применения метода первого приближения для исследования устойчивости))

Задание 1

Найдите состояния равновесия. Исследуйте их устойчивость методом первого приближения.

$$\begin{cases} \dot{x} = (x - 1)(y - 1) \\ \dot{y} = x\,y + 5 \end{cases}$$

Задание 2

Найдите состояния равновесия. Исследуйте их устойчивость методом первого приближения.

$$\begin{cases} \dot{x} = \dfrac{x}{2} - \dfrac{xy}{1+x} - 2x^2 \\ \dot{y} = \dfrac{xy}{1+x} - \dfrac{y}{2} \end{cases}$$

Правила выставления оценки по результатам самостоятельной работы:

Оценка по результатам самостоятельной работы считается в баллах по следующему принципу:

задание №1, №2 – верное определение всех состояний равновесия исследуемой системы, верное определение типа особой точки в каждом состоянии равновесия, верный вывод об устойчивости - 2 балла.

Каждое из заданий может быть оценено половиной заявленных по нему баллов, в случае, если состояния равновесия определены верно, но допущены ошибки в исследовании устойчивости или не найдено одно состояние равновесия, но расчет устойчивости для остальных верен.

Полностью неправильно выполненное задание - 0 баллов.

Максимальное количество баллов по итогам самостоятельной работы – 4 балла,

Набранное количество баллов 4 соответствует формированию на данном этапе освоения дисциплины проверяемых умений на высоком уровне, 3 балла – на продвинутом уровне, 2 баллов – на пороговом уровне, менее 2 баллов – умения не сформированы.

Самостоятельная работа № 5

(проверка ОПК-1 (в части умений применения метода ММА получения укороченных уравнений систем с разрывной правой частью))

Задание

Исследуйте систему методом ММА.

Найдите зависимость частоты от амплитуды колебаний.

$$\ddot{x} + x = \mu f(x)$$

$$f(x) = \begin{cases} 0; \, x \le -1 \\ 1; \, x > -1 \end{cases}$$

Правила выставления оценки по результатам самостоятельной работы:

Оценка по результатам самостоятельной работы считается в баллах по следующему принципу:

Вывод верных интегралов для вычисления укороченных уравнений, определение верных пределов интегрирования. Правильное вычисление полученных интегралов, верный вывод о зависимости частоты от амплитуды колебаний - 4 балла.

Задание может быть оценено меньшим кол-вом баллов в случае неверного определения пределов интегрирования, ошибок в вычислении укороченных уравнений, неверной интерпретации полученных результатов.

Полностью неправильно выполненное задание - 0 баллов.

Набранное количество баллов 4 соответствует формированию на данном этапе освоения дисциплины проверяемых умений на высоком уровне, 3 балла – на продвинутом уровне, 2 баллов – на пороговом уровне, менее 2 баллов – умения не сформированы.

Самостоятельная работа № 6

(проверка ОПК-1 (в части умений исследования систем с разрывным временем))

Задание 1

Проведите разбиение фазовой плоскости на фазовые траектории, полагая $0<\mu<<1$

$$\begin{cases} \mu\dfrac{dx}{dt} = x(1-x^2) - y \\ \dfrac{dy}{dt} = x - a\,y \end{cases}, \qquad 0 < a < 1$$

Задание 2

Проведите разбиение фазовой плоскости на фазовые траектории, полагая $0<\mu<<1$

$$\begin{cases} \mu\dfrac{dx}{dt} = -x - y - kF(x) \\ \dfrac{dy}{dt} = x \end{cases}, \qquad F(x) = -x + x^3/3,\ k < 0$$

Правила выставления оценки по результатам самостоятельной работы:

Оценка по результатам самостоятельной работы считается в баллах по следующему принципу:

задание №1, №2 – верное определение кривой медленных движений, верное определение направления быстрых и медленных движений, верное определение состояний равновесия и правильное исследование их устойчивости, определение возможных предельных циклов - 2 балла.

Каждое из заданий может быть оценено половиной заявленных по нему баллов, в случае, если кривая медленных движений определена верно, но допущены ошибки в определений направления быстрых и медленных движений или при исследовании устойчивости.

Полностью неправильно выполненное задание - 0 баллов.

Максимальное количество баллов по итогам самостоятельной работы – 4 балла,

Набранное количество баллов 4 соответствует формированию на данном этапе освоения дисциплины проверяемых умений на высоком уровне, 3 балла – на продвинутом уровне, 2 баллов – на пороговом уровне, менее 2 баллов – умения не сформированы.

Самостоятельная работа № 7

(проверка ОПК-1 (в части умений применения метода ММА для построения диаграмм бифуркаций))

Задание

Исследуйте систему методом ММА.

Найдите состояния равновесия, исследуйте их устойчивость в зависимости от параметра α, постройте диаграммы бифуркаций.

$$\ddot{x} + x = -\mu\frac{d}{dt}\left[x - \alpha(x - x^3)\right], \quad 0<\mu<<1,\ \alpha>0$$

Правила выставления оценки по результатам самостоятельной работы:

Оценка по результатам самостоятельной работы считается в баллах по следующему принципу:

Вывод верных интегралов для вычисления укороченных уравнений, вычисление укороченных уравнений, исследование устойчивости состояний равновесия укороченных уравнений, построение по итогам исследования диаграммы бифуркаций в зависимости от параметра α - оценивается в 5 баллов.

Задание может быть оценено меньшим количеством баллов, в случае ошибок на каждом из этапов исследования.

Полностью неправильно выполненное задание - 0 баллов.

Набранное количество баллов 5 или 4 соответствует формированию на данном этапе освоения дисциплины проверяемых умений на высоком уровне, 3 балла – на продвинутом уровне, 2 баллов – на пороговом уровне, менее 2 баллов – умения не сформированы.

Самостоятельная работа № 8

(проверка ОПК-1 (в части умений применения метода ММА для построения резонансных кривых))

Задание

Построить резонансные кривые – зависимость амплитуды установившихся колебаний от относительной расстройки ξ. Исследовать устойчивость состояния равновесия. Считать, что дифференцирование ведется по безразмерному времени $\tau = \Omega t$, Ω – частота входного воздействия, ω_0 – частота собственных колебаний системы, $\xi = 1 - \frac{\omega_0^2}{\Omega^2}$ – относительная расстройка, ξ, σ, β >0 и ξ, σ, β <<1. Решение искать в виде $x = RCos(\tau + \theta)$, $\dot{x} = -RSin(\tau + \theta)$

$$\ddot{x} + x = x(\xi + \beta x^2) + \sigma Cos(\tau)$$

Правила выставления оценки по результатам самостоятельной работы:

Оценка по результатам самостоятельной работы считается в баллах по следующему принципу:

Вывод верных интегралов для вычисления укороченных уравнений, вычисление укороченных уравнений, построение по итогам исследования резонансных кривых - оценивается в 5 баллов.

Задание может быть оценено меньшим количеством баллов, в случае ошибок на каждом из этапов исследования.

Полностью неправильно выполненное задание - 0 баллов.

Набранное количество баллов 5 или 4 соответствует формированию на данном этапе освоения дисциплины проверяемых умений на высоком уровне, 3 балла – на продвинутом уровне, 2 баллов – на пороговом уровне, менее 2 баллов – умения не сформированы.

Контрольная работа N1

Исследуйте устойчивость нулевого состояния равновесия 2-м методом Ляпунова.

Задание 1

$$\begin{cases} \dot{x} = -5y - x^3 \\ \dot{y} = 2x - y^3 \end{cases}$$

Исследуйте устойчивость нулевого состояния равновесия 2-м методом Ляпунова. Найдите области притяжения.

Задание 2

$$\begin{cases} \dot{x} = -y - 2x + (3x^2 + 2y^2)x \\ \dot{y} = x - 2y + (3x^2 + 2y^2)y \end{cases}$$

Задание 3

$$\begin{cases} \dot{x} = -2x^3(1+y) + 3y^3 \\ \dot{y} = -3y^3 - 3x\,y^2 \end{cases}$$

Исследуйте устойчивость нулевого состояния равновесия 2-м методом Ляпунова (используйте теорему Четаева).

Задание 4

$$\begin{cases} \dot{x} = -3x^5 + 2y \\ \dot{y} = 2x^3 + 3y\,x^4 \end{cases}$$

Найдите состояния равновесия. Исследуйте их устойчивость методом первого приближения.

Задание 5

$$\begin{cases} \dot{x} = -2x(1+x) - (x-y) \\ \dot{y} = x - y \end{cases}$$

Задание 6

$$\begin{cases} \dot{x} = x(y-1) \\ \dot{y} = 2\,y(2-x) \end{cases}$$

Правила выставления оценки по результатам контрольной работы:

Оценка по результатам контрольной работы считается в баллах по следующему принципу:

Верное решение задания 1 - 1 балл
Верное решение задания 2 - 2 балла
Верное решение задания 3 - 2 балла
Верное решение задания 4 - 2 балла
Верное решение задания 5 - 1 балл
Верное решение задания 6 - 1 балл
Верное решение задания 7 - 1 балл

Каждое из заданий быть оценено меньшим количеством баллов, в случае наличия ошибок. Полностью неправильно выполненное задание - 0 баллов.

Максимальное количество баллов по итогам контрольной работы – 10 баллов.

Набранное количество баллов 8 и более соответствует формированию на данном этапе освоения дисциплины проверяемых умений на высоком уровне, 7-6 баллов – на продвинутом уровне, 3-5 баллов – на пороговом уровне, менее 3 баллов – умения не сформированы.

Контрольная работа N2

Задание 1

Постройте фазовый портрет системы

$$\ddot{x} + x^2 - 5x = 0$$

Задание 2

Проведите разбиение фазовой плоскости на фазовые траектории, полагая $0<\mu<<1$

Исследуйте устойчивость состояний равновесия.

$$\begin{cases} \mu \dfrac{dx}{dt} = x(1-x^2) - y \\ \dfrac{dy}{dt} = x - a\,y \end{cases}, \qquad 1 < a < 1.5$$

Задание 3

Исследуйте систему методом ММА.

Получите укороченные уравнения. Найдите стационарные состояния, исследуйте их устойчивость. Найдите зависимость частоты от амплитуды колебаний.

$$\ddot{x} + x = \mu\left(-\dot{x} + 4f(x)\right);\ 0<\mu<<1$$

$$f(\dot{x}) = \begin{cases} 1;\ \dot{x} > 0 \\ 0;\ \dot{x} \le 0 \end{cases},$$

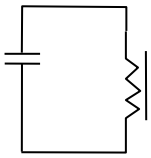
Задание 4

Исследуйте систему методом ММА.

Найдите состояния равновесия, исследуйте их устойчивость в зависимости от параметра α, постройте диаграммы бифуркаций.

$$\ddot{x} + x = -\mu\left[\dot{x} - \alpha(\dot{x} - \dot{x}^3)\right], \quad 0<\mu<<1,\ \alpha>0$$

Задание 5



Найдите зависимость частоты от амплитуды колебаний в колебательном контуре с нелинейной индуктивностью. Потокосцепление и ток в катушке связаны соотношением:

$$Li = \Phi + \alpha\Phi^3,\ \alpha << 1$$

Учтите, что напряжение на индуктивности в зависимости от Ф определяется формулой :

$$u_L = \frac{d\Phi}{dt}$$

Правила выставления оценки по результатам контрольной работы:

Оценка по результатам контрольной работы считается в баллах по следующему принципу:

Верное решение задания 1 - 2 балла
Верное решение задания 2 - 2 балла
Верное решение задания 3 - 2 балла
Верное решение задания 4 - 2 балла
Верное решение задания 5 - 2 балла

Каждое из заданий быть оценено меньшим количеством баллов, в случае наличия ошибок. Полностью неправильно выполненное задание - 0 баллов.

Максимальное количество баллов по итогам контрольной работы – 10 баллов.

Набранное количество баллов 8 и более соответствует формированию на данном этапе освоения дисциплины проверяемых умений на высоком уровне, 7-6 баллов – на продвинутом уровне, 3-5 баллов – на пороговом уровне, менее 3 баллов – умения не сформированы.

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

Тест для самопроверки по результатам освоения дисциплины.

Проверка сформированности компетенции ОПК-1

Вопрос N1

Система, описываемая уравнением

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \delta\frac{dx}{dt} + \omega^2 Sin(x) = 0$$

является:

1) линейной;
2) нелинейной;
3) с переменными параметрами;

1) консервативной;
2) диссипативной;

1) внешнее воздействие присутствует;
2) без внешнего воздействия;

Вопрос N2

Каким уравнен6ием определяются фазовые траектории системы:

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \delta(x^2 - 1)\frac{dx}{dt} + \omega^2 x = 0$$

Вопрос N3

Могут ли пересекаться фазовые траектории:

1) Да
2) Только в особых точках
3) Нет

Вопрос N4

Является ли функция $V(x, y) = x^2 + y^2 + (x - y)^2$ знакоопределенной или знакопостоянной

1) Это знакопостоянная функция
2) Это знакоопределенная функция
3) Это знакопеременная функция

Вопрос N5

Является ли состояние равновесия устойчивым, если для системы подобрана положительно определенная функция Ляпунова, производная которой в силу движения системы тождественно рана нулю

1) Состояние равновесия устойчиво асимптотически
2) Состояние равновесия устойчиво
3) Состояние равновесия не устойчиво
4) Невозможно судить об устойчивости состояния равновесия

Вопрос N6

Могут ли фазовые траектории покинуть область притяжения состояния равновесия

1) Да
2) Нет
3) Да, но всегда с течение5м времени вернутся в нее

Вопрос N7

Если система устойчива по Ляпунову, верно ли утверждение:

Для любого $\delta>0$ существует такое конечное время t_1 , для которого при $t>t_1$ фазовые траектории попадают в δ-окрестность состояния равновесия

1) Да
2) Нет

Вопрос N8

Если система устойчива по Ляпунову, верно ли утверждение:

Для любого $\delta>0$ существует такое конечное время t_1 , для которого при $t>t_1$ фазовые траектории попадают в δ-окрестность состояния равновесия

1) Система асимптотически устойчива
2) Система устойчива
2) Система не устойчива

Вопрос N9

При каких значениях корней характеристического уравнения состояние равновесия системы устойчиво:

1) Действительные части всех корней больше нуля
2) Действительные части всех корней меньше нуля
3) Все корни действительные
4) Действительные части всех корней меньше нуля или равны нулю
5) Действительные части всех корней больше нуля или равны нулю

Вопрос N10

График потенциальной энергии консервативной системы имеет два максимума и один минимум. Сколько состояний равновесия и каких типов имеется в системе?

Вопрос N11

Индекс Пуанкаре вдоль границы некоторой области фазового пространства равен нулю. Могут ли существовать в этой области особые точки? Если да, то какие?

Вопрос N12

Как связаны между собой переменные Ван-дер-Поля (R,θ) и (a,b)
1) Не связаны
2) $a=RCos(\theta);b=RSin(\theta);$
3) $a=RCos(\theta);b=-RSin(\theta);$
4) $a=RSin(\theta);b=RCos(\theta);$
5) $a=RSin(\theta);b=-RCos(\theta);$

Вопрос N13

Возможно ли исследовать методом Ван-дер-Поля систему:

1) $\frac{d^2x}{dt^2}+\delta(x^2-1)\frac{dx}{dt}+x=0,\ \delta>>1,$

2) 1) $\frac{d^2x}{dt^2}+\delta(x^2-1)\frac{dx}{dt}+x=0,\ \delta<<1,$

3) $\frac{d^2x}{dt^2}+\delta(x^2-1)\frac{dx}{dt}+Sin(x)=0,\ \delta>>1,$

4) $\delta\frac{d^2x}{dt^2}+(x^2-1)\frac{dx}{dt}+x=0,\ \delta<<1,$

Вопрос N14

В системе

$$\begin{cases}\mu\frac{dx}{dt}=x(1-x^2)-y\\ \frac{dy}{dt}=x-0.5\,y\end{cases},\ \mu<<1$$

Кривая медленных движений определяется уравнением

1) $F(x,y)=x(1-x^2)-y$

2) $F(x,y)=x-0.5\,y$

3) $F(x,y)=x-0.5\,y$

Вопрос N16

При явлении тушения колебаний частота на выходе генератора равна:
1) На выходе двухчастотный сигнал.

2) Частота колебаний на выходе равна частоте собственных колебаний.
3) Частота колебаний на выходе равна частоте внешнего воздействия.
4) Частота колебаний на выходе определяется полосой захвата генератора.

Вопрос N17

При гармоническом воздействии на генератор Ван-дер-Поля частота на выходе генератора равна:

1) На выходе двухчастотный сигнал.
2) Частота колебаний на выходе всегда равна частоте собственных колебаний.
3) Частота колебаний на выходе всегда равна частоте внешнего воздействия.
4) Частота колебаний на выходе определяется полосой захвата генератора.

Вопрос N18

Частота колебаний генератора Ван-дер-Поля зависит от:

1) Амплитуды колебаний
2) Условия баланса фаз
3) Условия баланса амплитуд

Вопрос N19

Может ли частота генерации системы из двух связанных генераторов зависеть от начальных условий?

Вопрос N20

Могут ли отсутствовать колебания в емкостной трехточке без нагрузки?

Вопрос N21

Какое минимальное количество RC цепочек необходимо для создания RC-генератора?

1) 2
2) 3
3) 4

Вопрос N22

Является ли кричным для работы параметрического генератора соотношение фаз сигнала накачки и собственных колебаний?

1) Да
2) Нет

Вопрос N23

Для возникновения параметрического резонанса должно выполняться условие

1) $m > \frac{2}{Q}\sqrt{1+Q^2\xi^2}$

2) $m < \frac{2}{Q}\sqrt{1+Q^2\xi^2}$

3) $m > \frac{2}{\xi}\sqrt{1+Q^2}$

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

Список вопросов к экзамену

1 Предмет теории колебаний, место теории колебаний в современной радиофизике и электронике. Краткие исторические сведения. Теория колебаний – ветвь прикладной математики.

2 Колебательные системы и их классификация. Консервативные, диссипативные, автоколебательные системы. Примеры.

3 Типы колебаний. Свободные, вынужденные, параметрические колебания, автоколебания. Примеры.

4 Свободные колебания линейной системы с одной степенью свободы. Случай малого и большого трения.

5 Вынужденные колебания в линейной системе с одной степенью свободы с малым трением при гармоническом воздействии. Линейный резонанс.

6 Представление колебаний в фазовом пространстве. Интегральные кривые и фазовые траектории. Построение фазовых портретов.

7 Положения равновесия автономных систем. Определения устойчивости. Устойчивость по Ляпунову. Асимптотическая устойчивость.

8 Второй метод Ляпунова. 1-я и 2-я теоремы Ляпунова об устойчивости и асимптотической устойчивости. Оценка области притяжения. Ограниченно устойчивые системы.

9 Устойчивость по первому приближению. Основные теоремы об устойчивости состояния равновесия линеаризованной системы.

10 Устойчивость по первому приближению. Алгебраические критерии устойчивости. Критерий Раусса-Гурвица.

11 Устойчивость по первому приближению. Частотные критерии устойчивости. Критерий Михайлова.

12 Сравнение методов анализа устойчивости состояний равновесия по первому приближению и вторым методом Ляпунова. Примеры.

13 Классификация состояний равновесия системы с одной степенью свободы. Фазовые портреты. Примеры.

14 Классификация состояний равновесия системы с одной степенью свободы. Особая точка типа "седло". Примеры.

15 Классификация состояний равновесия системы с одной степенью свободы. Особая точка типа "узел". Примеры.

16 Классификация состояний равновесия системы с одной степенью свободы. Особая точка типа "фокус". Примеры.

17 Замкнутые фазовые траектории. Индексы Пуанкаре. Критерии отсутствия замкнутых фазовых траекторий. Примеры.

18 Простейшая консервативная система. Определение. Исследование фазового портрета. Теорема Лагранжа-Дирихле и обратная теорема Ляпунова.

19 Консервативная система с периодической нелинейностью. Исследование фазового портрета.

20 Автоколебательные системы. Качественное исследование. Доказательство существования устойчивого предельного цикла для уравнения Ван-дер-Поля.

21 Основные положения теории бифуркаций. Простейшие бифуркации. Бифуркации, не связанные с рождением предельных циклов. Бифуркации, связанные с рождением предельных циклов. Примеры.

22 Бифуркации возникновения и исчезновения предельных циклов в генераторе Ван-дер-Поля с мягким режимом возбуждения.

23 Бифуркации возникновения и исчезновения предельных циклов в генераторе Ван-

дер-Поля с жестким режимом возбуждения.

24 Основные положения метода Ван-дер-Поля. Укороченные уравнения. Первая форма (переменные Ван-дер-Поля R, θ).

25 Основные положения метода Ван-дер-Поля. Укороченные уравнения. Вторая форма (переменные Ван-дер-Поля a, b).

26 Генератор Ван-дер-Поля. Укороченные уравнения для случая мягкого режима возбуждения автоколебаний.

27 Генератор Ван-дер-Поля. Укороченные уравнения для случая жесткого режима возбуждения автоколебаний.

28 Переходные процессы в генераторе Ван-дер-Поля.

29 Основные положения метода гармонической линеаризации. Устойчивость периодических решений. Расчет автоколебаний на выходе генератора Ван-дер-Поля.

30 Метод разрывных колебаний. Быстрые и медленные движения. Условия несущественности малого параметра. Разрывные предельные циклы. Релаксационный генератор.

31 Вынужденные колебания в системе с нелинейной восстанавливающей силой. Уравнение Дуффинга. Вывод уравнения резонансной кривой.

32 Вынужденные колебания в системе с нелинейной восстанавливающей силой. Уравнение Дуффинга. Уравнение резонансной кривой. Устойчивость периодических режимов. Явление скачка.

33 Автоколебательная система при периодическом внешнем воздействии. Асинхронное воздействие на генератор Ван-дер-Поля. Явление тушения колебаний.

34 Автоколебательная система при периодическом внешнем воздействии. Воздействие с частотой, близкой к частоте автономного генератора. Уравнение синхронизации.

35 Неавтономный генератор Ван-дер-Поля. Воздействие с частотой, близкой к частоте автономного генератора. Вывод уравнения резонансных кривых.

36 Неавтономный генератор Ван-дер-Поля. Резонансные кривые. Устойчивость вынужденных колебаний.

37 Неавтономный генератор Ван-дер-Поля. Резонансные кривые. Колебания при больших расстройках по частоте, режим биений.

38 Неавтономный генератор Ван-дер-Поля. Синхронизация на кратных частотах. Умножение частоты.

39 Неавтономный генератор Ван-дер-Поля. Синхронизация на субкратных частотах. Деление частоты

40 Колебательные системы с двумя степенями свободы. Асинхронные колебания в связанных генераторах. Одночастотные режимы.

41 Колебательные системы с двумя степенями свободы. Асинхронные колебания в связанных генераторах. Двухчастотные режимы.

42 Взаимная синхронизация двух генераторов с близкими частотами. Уравнение синхронизации.

43 Динамика биологических систем. Анализ модели Вольтерра "хищник-жертва".

44 Динамика биологических систем. Анализ конкурентной модели.

45 Метод точечных преобразований. Основные понятия. Связь точечного преобразования и порождающего дифференциального уравнения. Примеры.

46 Метод точечных преобразований. Анализ генератора с Z-характеристикой.

47 Метод точечных преобразований. Часы с сухим трением..

48 RC-генераторы. Вывод дифференциального уравнения. Условия баланса фаз и амлитуд. Частота собственных колебаний.

49 Трехточечная схема автогенератора. Индуктивная трехточка. Вывод дифференциального уравнения. Условия баланса фаз и амлитуд. Зависимость режима возбуждения от сопротивления нагрузки.

50 Трехточечная схема автогенератора. Емкостная трехточка. Вывод дифференциального уравнения. Условия баланса фаз и амлитуд. Зависимость режима возбуждения от сопротивления нагрузки.

51 Колебательные системы с двумя степенями свободы. Колебания в двухкаскадном резонансном усилителе с обратной связью. Условия возбуждения. Уравнение синхронизации.

52 Параметрические колебания. Основные положения теории Флоке. Устойчивость. Параметрический резонанс.

53 Параметрические колебания. Линейный контур при модуляции емкости прямоугольными импульсами. Эффективная добротность. Расчет эквивалентного отрицательного сопротивления.

54 Параметрические колебания. Линейный контур при гармонической модуляции емкости. Недовозбужденный режим. Исследование методом Ван-дер-Поля и на фазовой плоскости.

55 Параметрические колебания. Линейный контур при гармонической модуляции емкости. Режим возбуждения. Исследование методом Ван-дер-Поля и на фазовой плоскости.

56 Нелинейный колебательный контур при гармонической модуляции емкости. Параметрическая генерация.

57 Понятие динамического хаоса. Условия возникновения, критерии существования хаотических колебаний в динамических системах. Показатели Ляпунова, фрактальная размерность.

Критерии оценивания ответов на вопросы билета

Критерий	**Пороговый уровень (на «удовлетворительно»)**	**Продвинутый уровень (на «хорошо»)**	**Высокий уровень (на «отлично»)**
Соответствие ответа вопросу	Хотя бы частичное (*не относящееся к вопросу не подлежит проверке*)	Полное	Полное
Наличие примеров	Имеются отдельные примеры	Много примеров	Есть практически ко всем утверждениям
Содержание ответа	Понятийные вопросы изложены с классификациями, проблемные с постановкой проблемы и изложением различных точек зрения. Имеются ошибки или пробелы.	Ответ почти полный, без ошибок, не хватает отдельных элементов и тонкостей	Исчерпывающий полный ответ

3. Описание процедуры выставления оценки

В конце второго семестра изучения дисциплины студенты сдают экзамен. Экзамен принимается по экзаменационным билетам, каждый из которых включает в себя два теоретических вопроса и задачу. При этом задания для самостоятельной работы, самостоятельные и контрольные работы должны быть выполнены на уровне не ниже порогового. На самостоятельную подготовку к экзамену выделяется 3 дня, во время подготовки к экзамену предусмотрена групповая консультация.

В зависимости от уровня сформированности каждой компетенции по окончании освоения дисциплины студенту выставляется оценка. Для дисциплин, изучаемых в течение нескольких семестров, оценка может выставляться не только по окончании ее освоения, но и в промежуточных семестрах.

Уровень сформированности компетенции оценивается как средний по совокупности параметров, в роли которых выступают оценки за: ответы на вопросы билета и решение экзаменационной задачи в соответствии с критериями, приведёнными в п. 1 т 2. При этом задания для самостоятельной работы, самостоятельные и контрольные работы должны быть выполнены на уровне не ниже порогового.

Оценка «отлично» выставляется студенту, у которого каждая компетенция (полностью или частично формируемая данной дисциплиной) сформирована на высоком уровне.

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

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

Оценка «неудовлетворительно» 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
«Теория колебаний»

Методические указания для студентов по освоению дисциплины

Основной формой изложения учебного материала по дисциплине «Теория колебаний» являются лекции. Дисциплина преподается в течение двух семестров.

Объем изучаемого материала в рамках дисциплины достаточно большой. Логика курса подразумевает глубокое понимание каждого его раздела и использование освоенного материала при изучении последующих тем дисциплины.

Для успешного освоения всех тем студентам необходимо самостоятельно конспектировать все лекции. Материал, законспектированный на лекциях, необходимо дома еще раз прорабатывать и при необходимости дополнять информацией, полученной на консультациях, практических занятиях или из учебной литературы. Это послужит основой для качественного освоения теоретического материала.

Также для закрепления теоретического материала по большинству тем предусмотрены практические занятия. Практически для каждой темы курса предусмотрено решение соответствующего типа задач. Задачи позволят применить теоретические подходы лекционного материала к конкретным радиотехническим устройствам. Каждый вид задач разбирается на лекциях и практических занятиях, при необходимости по наиболее трудным темам проводятся дополнительные консультации.

Основная цель решения задач – привить студентам практические применения методов теории колебаний к анализу конкретных динамических систем. В ходе курса решаются задачи, которые охватывают полный цикл изучения любой радиотехнической системы:

- получение адекватной математической модели, учитывающей существенные особенности поведения системы;
- нахождение состояний равновесия и предельных циклов, возможных в системе;
- анализ устойчивости, найденных движений;
- качественный и количественный анализ поведения системы в зависимости от параметров, построение фазовых портретов, диаграмм бифуркаций и т.д..

Т.к. объем материала для изучения достаточно велик, большое внимание должно быть уделено выполнению домашней работы. Все задания для самостоятельной работы дома, аналогичны задачам, разобранным на лекциях и практических занятиях или немного более сложные, которые являются результатом объединения нескольких базовых задач.

Проверка и контроль усвоения теоретического и практического материала осуществляется на каждом практическом занятии при проверке и разборе домашнего задания. Также проводятся консультации (при необходимости) по разбору заданий для самостоятельной работы, которые вызвали затруднения.

В конце второго семестра изучения дисциплины студенты сдают экзамен. Экзамен принимается по экзаменационным билетам, каждый из которых включает в себя два теоретических вопроса и задачу. При этом задания для самостоятельной работы, самостоятельные и контрольные работы должны быть выполнены на уровне не ниже порогового. На самостоятельную подготовку к экзамену выделяется 3 дня, во время подготовки к экзамену предусмотрена групповая консультация.

Освоить вопросы, излагаемые в процессе изучения дисциплины «Теория колебаний» самостоятельно студенту крайне сложно. Это связано со сложностью изучаемого материала и большим объемом курса. Поэтому посещение всех аудиторных занятий является совершенно необходимым. Без упорных и регулярных занятий в течение семестра сдать экзамен по итогам изучения дисциплины студенту практически невозможно.

Существует достаточно большое количество хороших книг, посвященных теории колебаний применительно к различным областям знания. Это и классические монографии

(например книги А. А. Андронова) и прикладные публикации. Несмотря на то, что последние рассматривают часто ограниченный круг вопросов - они могут быть очень интересны студентам радиофизикам (в качестве примера можно привести издания авторов Капранова М.В., Кулешова В.Н., Уткина Г.М. по генерированию радиосигналов). Некоторые из публикаций, ознакомиться с которыми студентам будет полезно при изучении курса, перечислены в п. 7 рабочей программы.

Также для подбора учебной литературы рекомендуется использовать широкий спектр литературы в ЭБС, подписка на которые предоставлена через ЯрГУ, список и инструкцию по использованию которых можно найти по адресу: http://www.lib.uniyar.ac.ru/content/resource/net_res(1).php