

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное учреждение
высшего профессионального образования
"Казанский (Приволжский) федеральный университет"
Институт физики



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по образовательной деятельности КФУ

Проф. Тагирский Д.А.



_____ 20__ г.

подписано электронно-цифровой подписью

Программа дисциплины
Теория колебаний Б1.Б.26

Направление подготовки: 03.03.03 - Радиофизика

Профиль подготовки: Физика магнитных явлений

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Автор(ы):

Мамин Г.В.

Рецензент(ы):

Егоров А.В.

СОГЛАСОВАНО:

Заведующий(ая) кафедрой: Тагиров М. С.

Протокол заседания кафедры No _____ от "_____" _____ 201__ г

Учебно-методическая комиссия Института физики:

Протокол заседания УМК No _____ от "_____" _____ 201__ г

Регистрационный No 635618

Казань
2018

Содержание

1. Цели освоения дисциплины
2. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы
3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины /модуля
4. Структура и содержание дисциплины/ модуля
5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения
6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов
7. Литература
8. Интернет-ресурсы
9. Материально-техническое обеспечение дисциплины/модуля согласно утвержденному учебному плану

Программу дисциплины разработал(а)(и) доцент, к.н. Мамин Г.В. Кафедра квантовой электроники и радиоспектроскопии Отделение радиофизики и информационных систем , George.Mamin@kpfu.ru

1. Цели освоения дисциплины

Многие явления в радиофизике имеют колебательный характер. Также многие электронные устройства содержат различные генераторные и усилительные элементы. Поэтому для студентов - радиофизиков необходимо изучение принципов работы радиотехнических и радиофизических колебательных систем: усилителей и автогенераторов, нелинейных радиотехнических систем управления, квантовых устройств, параметрических и волновых систем. Таким образом, основной целью курса "Основы теории колебаний" как самостоятельной научной дисциплины является формирование единого и строгого физико-математического подхода к исследованию широкого круга явлений и процессов, происходящих в линейных и нелинейных колебательных системах, и создании на его основе теоретического фундамента для углубленного изучения последующих дисциплин учебного плана.

В качестве примеров колебательных систем в курсе чаще всего используются различные электрические системы, а также в ряде случаев их механические аналоги.

2. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы высшего профессионального образования

Данная учебная дисциплина включена в раздел " Б1.Б.26 Дисциплины (модули)" основной образовательной программы 03.03.03 Радиофизика и относится к базовой (общепрофессиональной) части. Осваивается на 3 курсе, 5 семестр.

Курса "Основы теории колебаний" как самостоятельной научной дисциплины формирует единый и строгого физико-математический подход к исследованию широкого круга явлений и процессов, происходящих в линейных и нелинейных колебательных системах, и создает теоретический фундамент для углубленного изучения последующих дисциплин учебного плана.

Для усвоения курса "Основы теории колебаний" необходимо изучить курсы:

Математический анализ,
Линейная алгебра,
Механика,
Термодинамика,
Электродинамика,
Основы радиоэлектроники.

3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины /модуля

В результате освоения дисциплины формируются следующие компетенции:

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ОПК-1 (профессиональные компетенции)	способностью использовать в профессиональной деятельности базовые естественнонаучные знания, включая знания о предмете и объектах изучения, методах исследования, современных концепциях, достижениях и ограничениях естественных наук (прежде всего химии, биологии, экологии, наук о земле и человеке) - курс "Теория колебаний" содержит основы математического аппарата, позволяющего анализировать физические, химические и биологические колебательные системы.

В результате освоения дисциплины студент:

1. должен знать:

Основные термины, теоремы и определения теории колебаний, используемых в радиофизике и электронике

методы анализа линейных систем с одной степенью свободы

метод фазовой плоскости

второй метод Ляпунова исследования устойчивости состояния равновесия нелинейных систем

методы анализа нелинейных и параметрических систем

2. должен уметь:

дать грамотное определение и толкование основных терминов, теорем и определений теории колебаний, используемых в радиофизике и электронике

уметь применять метод фазовой плоскости

использовать методы анализа нелинейных и параметрических систем

решать задачи на составление колебательных уравнений и построение фазовых портретов систем с одной степенью свободы

3. должен владеть:

Аппаратом теории колебаний и применять его для решения практических задач

4. должен демонстрировать способность и готовность:

Применять аппарат теории колебаний при решении фундаментальных и практических задач в области радиофизики.

4. Структура и содержание дисциплины/ модуля

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетных(ые) единиц(ы) 72 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины зачет в 5 семестре.

Суммарно по дисциплине можно получить 100 баллов, из них текущая работа оценивается в 50 баллов, итоговая форма контроля - в 50 баллов. Минимальное количество для допуска к зачету 28 баллов.

86 баллов и более - "отлично" (отл.);

71-85 баллов - "хорошо" (хор.);

55-70 баллов - "удовлетворительно" (удов.);

54 балла и менее - "неудовлетворительно" (неуд.).

4.1 Структура и содержание аудиторной работы по дисциплине/ модулю

Тематический план дисциплины/модуля

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	

1.	Тема 1. Лекция 1 Введение в теорию колебаний. Классификация колебаний. Колебания						
----	--	--	--	--	--	--	--

в экологической системе.

5

1

2

0

0

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
2.	Тема 2. Лекция 2 Собственные колебания в линейной консервативной системе с одной степенью свободы. Метод фазовой плоскости. Фазовый портрет линейной консервативной системы. Собственные колебания в линейной неконсервативной системе с одной степенью свободы.	5	2	2	0	0	
3.	Тема 3. Лекция 3 Построение фазовых портретов методом изоклин. Фазовый портрет линейной неконсервативной системы. Собственные колебания в линейной неконсервативной системе с одной степенью свободы в случае сильного затухания. Фазовый портрет.	5	3	2	0	0	
4.	Тема 4. Лекция 4 Движение в системе с отталкивающей силой. Свободные колебания в нелинейных системах.	5	4	2	0	0	
5.	Тема 5. Лекция 5 Построение ФП методом Льенара. Вынужденные колебания в линейной системе с одной степенью свободы.	5	5	2	0	0	

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
6.	Тема 6. Лекция 6 Вынужденные колебания в линейной системе с одной степенью свободы. Вынужденные колебания в нелинейной системе с одной степенью свободы без диссипации энергии (задача Дуффинга).	5	6	2	0	0	
7.	Тема 7. Лекция 7 Вынужденные колебания в нелинейной системе с одной степенью свободы с диссипацией энергии (задача Дуффинга).	5	7	2	0	0	
8.	Тема 8. Лекция 8 Автоколебательные системы с одной степенью свободы. Примеры генераторов. Уравнения Ван-дер-Поля и Релея. Фазовый портрет. Частота генерируемых колебаний.	5	8	2	0	0	
9.	Тема 9. Лекция 9 Метод медленно меняющихся амплитуд. Координаты Ван-дер-Поля. Метод медленно меняющихся амплитуд в полярных координатах. Решение уравнения Ван дер Поля.	5	9	2	0	0	
10.	Тема 10. Лекция 10 Релаксационные генераторы. Предельный переход от невырожденных колебательных систем к вырожденным.	5	10	2	0	0	

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
11.	Тема 11. Лекция 11 Устойчивость колебательных систем. Параметрический резонанс. Определение областей параметрического резонанса по Мейснеру. Параметрический усилитель.	5	11	2	0	0	
12.	Тема 12. Лекция 12 Системы с двумя степенями свободы. Двухконтурная автоколебательная система. Собственные колебания в линейных системах с n степенями свободы.	5	12	2	0	0	
13.	Тема 13. Лекция 13 Колебания в однородных цепочках. Вынужденные колебания в однородных цепочках.	5	13	2	0	0	
14.	Тема 14. Лекция 14 Параметрические системы с n-степенями свободы. Двухконтурный параметрический усилитель и преобразователь частоты.	5	14	2	0	0	
15.	Тема 15. Лекция 15 Колебания в распределенных системах. Автоколебания в распределенных системах. Хаотические колебательные системы. "Эффект бабочки". Странный аттрактор. Фракталы.	5	15	2	0	0	
16.	Тема 16. Подведение итогов. Зачет.	5	16	2	0	0	

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
17.	Тема 17. Практическое занятие 1 Вывод уравнения для колебательных систем. Лианеризация уравнения колебаний. Расчет собственной частоты .	5	6	0	2	0	
18.	Тема 18. Практическое занятие 2 Построение фазовых портретов. Метод средней крутизны для автоколебательных систем.	5	8	0	2	0	
19.	Тема 19. Практическое занятие 3 Применение метода медленно-меняющихся амплитуд. Определение устойчивости колебательной системы.	5	10	0	2	0	
20.	Тема 20. Практическое занятие 4 Системы с многими степенями свободы.	5	12	0	2	0	
21.	Тема 21. Практическое занятие 5 Контрольная работа .	5	14	0	2	0	
22.	Тема 22. Самостоятельная работа 1 Ознакомление с классификацией теории колебаний. Ознакомление с основами радиоэлектроники.	5	1	0	0	0	Отчет

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
23.	Тема 23. Самостоятельная работа 2 Расчет фазового портрета линейной консервативной системы с одной степенью свободы. Расчет фазовых траекторий линейной консервативной системы с одной степенью свободы при изменении частоты.	5	2	0	0	0	Отчет
24.	Тема 24. Самостоятельная работа 3 Расчет фазового портрета колебательного LC контура при наличии затухания и без него. Определение максимального тока через индуктивность L, если максимальное напряжение на контуре U.	5	2	0	0	0	Отчет
25.	Тема 25. Самостоятельная работа 4 Расчет фазового портрета линейной неконсервативной системы с одной степенью свободы в случае положительного и отрицательного затухания. Влияние добротности на фазовые траектории.	5	3	0	0	0	Отчет

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
26.	Тема 26. Самостоятельная работа 5 Расчет фазового портрета линейной неконсервативной системы с одной степенью свободы в случае сильного затухания. Влияние начальных условий на траекторию движения.	5	3	0	0	0	Отчет
27.	Тема 27. Самостоятельная работа 6 Расчет фазового портрета линейной системы с отталкивающей силой	5	4	0	0	0	Отчет
28.	Тема 28. Самостоятельная работа 7 Расчет фазового портрета математического маятника.	5	4	0	0	0	Отчет
29.	Тема 29. Самостоятельная работа 8 Расчет фазового портрета системы с сухим трением.	5	4	0	0	0	Отчет
30.	Тема 30. Самостоятельная работа 9 Расчет фазового портрета методом Льенара	5	5	0	0	0	Отчет
31.	Тема 31. Самостоятельная работа 10 Расчет АЧХ и ФЧХ колебательного контура (вынужденные колебания).	5	6	0	0	0	Отчет

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
32.	Тема 32. Самостоятельная работа 11 Расчет АЧХ нелинейной системы (вынужденные колебания). Определение зоны неустойчивости и области феррорезонанса.	5	7	0	0	0	Отчет
33.	Тема 33. Самостоятельная работа 12 Расчет фазового портрета автоколебательной системы при различных параметрах системы. Условие самовозбуждения. Мягкий, жесткий режимы самовозбуждения.	5	8	0	0	0	Отчет
34.	Тема 34. Самостоятельная работа 13 Расчет фазового портрета автоколебательной системы описываемой уравнением Ван-дер-Поля.	5	9	0	0	0	Отчет
35.	Тема 35. Самостоятельная работа 14 Применение метода методом медленно-меняющихся амплитуд при расчете фазового портрета автоколебательной системы (уравнение Ван-дер-Поля).	5	9	0	0	0	Отчет
36.	Тема 36. Самостоятельная работа 15 Релаксационные генераторы. Переход от невырожденных колебательных систем к вырожденным.	5	10	0	0	0	Отчет

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
37.	Тема 37. Самостоятельная работа 16 Ознакомление с критериями устойчивости колебательных систем (кроме критериев Ляпунова)	5	11	0	0	0	Устный опрос
38.	Тема 38. Самостоятельная работа 17 Расчет параметрически регенерированного контура. Случаи усиления и ослабления колебаний.	5	11	0	0	0	Отчет
39.	Тема 39. Самостоятельная работа 18 Расчет зон параметрической регенерации по Мейснеру	5	11	0	0	0	Отчет
40.	Тема 40. Самостоятельная работа 19 Расчет собственных колебаний в двух связанных контурах. Наблюдение перераспределения энергии из одного контура в другой.	5	12	0	0	0	Отчет
41.	Тема 41. Самостоятельная работа 20 Расчет графика Вина	5	12	0	0	0	Отчет
42.	Тема 42. Самостоятельная работа 21 Расчет АЧХ и ФЧХ двух связанных контуров (вынужденные колебания).	5	12	0	0	0	Отчет
43.	Тема 43. Самостоятельная работа 22 Расчет двухконтурной автоколебательной системы	5	12	0	0	0	Отчет

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
44.	Тема 44. Самостоятельная работа 23 Системы с многими степенями свободы. Расчет колебаний трехатомной линейной молекулы (Дополнения к лекциям.). Ознакомление с основами квантовой механики. Квант, энергия, уровни энергии.	5	13	0	0	0	Устный опрос
45.	Тема 45. Самостоятельная работа 24 Колебательные системы с распределенными параметрами. Определение волнового сопротивления витой пары.	5	14	0	0	0	Отчет
46.	Тема 46. Самостоятельная работа 25 Колебательные системы с распределенными параметрами. Определение волнового сопротивления коаксиального кабеля.	5	14	0	0	0	Отчет
47.	Тема 47. Самостоятельная работа 26 Расчет фазового портрета хаотической системы. Наблюдение странного аттрактора.	5	15	0	0	0	Отчет
48.	Тема 48. Самостоятельная работа 27 Изучение поведения хаотической системы при изменении амплитуды модуляции.	5	16	0	0	0	Отчет

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
	Тема . Итоговая форма контроля	5		0	0	0	Зачет
	Итого			32	10	0	

4.2 Содержание дисциплины

Тема 1. Лекция 1 Введение в теорию колебаний. Классификация колебаний. Колебания в экологической системе.

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Даются основные определения в теории колебаний. Приводятся примеры колебательных систем. Приводятся примеры применения методов теории колебаний в профессии ?радиофизик?. Дается классификация колебательных систем по типу повторения движения, по количеству степеней свободы, по потерям в системе, по типу внешнего воздействия, по типу уравнений. Приводится пример колебательной системы на примере экологической системы.

Тема 2. Лекция 2 Собственные колебания в линейной консервативной системе с одной степенью свободы. Метод фазовой плоскости. Фазовый портрет линейной консервативной системы. Собственные колебания в линейной неконсервативной системе с одной степенью свободы.

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Рассматриваются линейные консервативные систем с одной степенью свободы на примере математического маятника и колебательного контура. Дается определение фазовой плоскости, изображающей точки, фазовой траектории, фазового портрета. Выводятся уравнение описывающие фазовую траекторию линейной консервативной системы с одной степенью свободы. Строится фазовый портрет линейной консервативной системы с одной степенью свободы. Вводится определение собственного времени. Дается определение особой точки типа фокус. Рассматриваются линейные неконсервативные систем с одной степенью свободы на примере колебательного контура. Дается определение слабого затухания. Находится решение системы дифференциальных уравнений описывающих линейную неконсервативную систему с одной степенью свободы. Дается определение логарифмического декремента затухания. Дается определение добротности. Делается вывод о невозможности решения системы уравнений для нахождения фазового портрета.

Тема 3. Лекция 3 Построение фазовых портретов методом изоклин. Фазовый портрет линейной неконсервативной системы. Собственные колебания в линейной неконсервативной системе с одной степенью свободы в случае сильного затухания. Фазовый портрет.

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Дается определение изоклин. Приводится метод построения фазовой траектории с помощью изоклин. На примере линейной консервативной системы с одной степенью свободы в случае слабого затухания строится фазовый портрет. Дается определение особой точки типа фокус. Дается определение сильного затухания. Приводится решение дифференциального уравнения фазовой траектории. Строится фазовый портрет линейной консервативной системы с одной степенью свободы в случае сильного затухания для новых координат ξ и η . Приводится аффинное преобразование координат для построения фазового портрета линейной консервативной системы с одной степенью свободы в случае сильного затухания в координатах x и y . Дается определение особой точки типа узел.

Тема 4. Лекция 4 Движение в системе с отталкивающей силой. Свободные колебания в нелинейных системах.

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Дается определение системы с отталкивающей силой. В качестве примера такой системы рассматривается перевернутый математический маятник. Приводится решение дифференциального уравнения фазовой траектории. Рассчитывается и строится фазовый портрет системы с отталкивающей силой в отсутствии затухания. Выводятся уравнения фазовых траекторий для системы с отталкивающей силой в случае ненулевого затухания. Строится фазовый портрет системы с отталкивающей силой в координатах φ и $\dot{\varphi}$. Приводится аффинное преобразование координат для построения фазового портрета системы с отталкивающей силой в координатах x и y . Дается определение особой точки типа седло. Строится диаграмма особых точек. На диаграмме обозначаются области соответствующие особым точкам типа центр, устойчивый фокус, неустойчивый фокус, устойчивый узел, неустойчивый узел, седло. Дается определение бифуркации. Рассматриваются свободные колебания в нелинейных системах типа математического маятника и системы с сухим трением.

Тема 5. Лекция 5 Построение ФП методом Льенара. Вынужденные колебания в линейной системе с одной степенью свободы.

лекционное занятие (2 часа(ов)):

На примере колебательного контура с генератором рассматриваются системы с вынужденными колебаниями. Рассматриваются типы колебаний в консервативных системах. Находится зависимости от частоты вынуждающих колебаний амплитуды и фазы вынужденных колебаний в консервативной системе. Дается определение резонанса. Выводится зависимость амплитуды и фазы собственных колебаний в случае действия вынуждающей силы. Строится временная зависимость амплитуды колебаний в контуре. Выводится уравнение биений. Делается предельный переход к нулевой расстройке частоты. Выводится уравнение амплитуды колебаний при резонансе. Рассматриваются типы колебаний в неконсервативных системах. Делается вывод о возможности пренебрежения собственными колебаниями. С помощью метода комплексных амплитуд находится зависимости от частоты вынуждающих колебаний амплитуды и фазы вынужденных колебаний в консервативной системе.

Тема 6. Лекция 6 Вынужденные колебания в линейной системе с одной степенью свободы. Вынужденные колебания в нелинейной системе с одной степенью свободы без диссипации энергии (задача Дуффинга).

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Определяется ширина резонансной кривой для вынужденных колебаний в линейной системе с одной степенью свободы. Находится зависимость ширины резонансной кривой от добротности системы. Находится увеличение амплитуды колебаний при резонансе. Приводится примеры нелинейных систем ? математический маятник и колебательных контур, с катушкой намотанной на ферромагнитном сердечнике. Приводится пример автоамортизаторов, использующих нелинейность. Ставится задача Дуффинга для вынужденных колебаний в нелинейной системе с одной степенью свободы. Дается метод гармонического баланса. Записывается уравнений колебаний в нелинейной системе без диссипации энергии. Уравнение приводится к собственному времени. Ищется решение уравнений колебаний в нелинейной системе без диссипации энергии методом гармонического баланса. Приводится метод работы ферромагнитного стабилизатора.

Тема 7. Лекция 7 Вынужденные колебания в нелинейной системе с одной степенью свободы с диссипацией энергии (задача Дуффинга).

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Вводятся понятия жесткой и мягкой характеристики. Дается определение метода гармонического баланса. Делаются преобразование в собственное время и вводится относительная расстройка частоты. С помощью метода гармонического баланса выводится АЧХ для консервативной нелинейной системе с одной степенью свободы. Строится АЧХ, анализируется предельных переход к линейным системам. Объясняется принцип работы феррорезонансного стабилизатора. Объясняется поведение системы при увеличении и уменьшении частоты. Выводится уравнение для зоны неустойчивости системы. С помощью метода гармонического баланса выводится АЧХ для неконсервативной нелинейной системе с одной степенью свободы. Строится АЧХ, анализируется предельных переход к линейным системам. Объясняется поведение системы при увеличении и уменьшении частоты.

Тема 8. Лекция 8 Автоколебательные системы с одной степенью свободы. Примеры генераторов. Уравнения Ван-дер-Поля и Релея. Фазовый портрет. Частота генерируемых колебаний.

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Дается определение автоколебательных систем томсоновского и релаксационного типов. Рассматриваются примеры автоколебательных систем на основе полевого транзистора, туннельного диода и по схеме индуктивной трехточки. Дается определение мгновенной крутизны. Выводится условие самовозбуждения генератора. Делается аппроксимация мгновенной крутизны полиномом третьей степени. Выводится уравнение Ван-дер-Поля. Дается уравнение Релея. Уравнение Ван-дер-Поля и Релея переводятся в собственное время. Строится фазовый портрет для автоколебательных систем, описываемых уравнениями Ван-дер-Поля и Релея. Определяется частота автоколебаний.

Тема 9. Лекция 9 Метод медленно меняющихся амплитуд. Координаты Ван-дер-Поля. Метод медленно меняющихся амплитуд в полярных координатах. Решение уравнения Ван дер Поля.

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Даются условия для построения генератора гармонических сигналов. Описывается метод средней крутизны. Дается определение мягкого и жесткого режимов самовозбуждения. Вводится вращающаяся система координат. Даются определения координат Ван-дер-Поля. Дается определение метода медленно-меняющихся амплитуд. Выводятся выражения для укороченных уравнений метода медленно меняющихся амплитуд в координатах Ван-дер-Поля. Даются преимущества и недостатки метода медленно меняющихся амплитуд. Приводится применение метода медленно меняющихся амплитуд для линейной неконсервативной системы с одной степенью свободы. Даются определения полярных координат. Выводятся выражения для укороченных уравнений метода медленно меняющихся амплитуд в полярных координатах. Даются преимущества и недостатки метода медленно меняющихся амплитуд. Приводится применение метода медленно меняющихся амплитуд для уравнения Ван дер Поля. Решаются укороченные уравнения для уравнения Ван дер Поля. Строится полученная зависимость амплитуды колебаний от времени.

Тема 10. Лекция 10 Релаксационные генераторы. Предельный переход от невырожденных колебательных систем к вырожденным.

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Объясняется схема работы релаксационного генератора на неоновой лампе. Объясняется схема работы релаксационного генератора на туннельном диоде. Схема релаксационного генератора на элементе с S-образной характеристикой модернизируется. Выводится выражение для фазовой траектории. Дается определение вырожденным системам. Схема релаксационного генератора на элементе с S-образной характеристикой модернизируется в невырожденную систему. Выводится уравнение движения. Строится фазовый портрет методом Лъенара. Изучается поведение фазовых траекторий при переходе к вырожденным системам. Дается обоснование скачков.

Тема 11. Лекция 11 Устойчивость колебательных систем. Параметрический резонанс. Определение областей параметрического резонанса по Мейснеру. Параметрический усилитель.

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Даются определения устойчивости колебательных систем. Дается определение устойчивости по Ляпунову. Приводится второй метод Ляпунова для поиска устойчивости линейных систем. Приводится второй метод Ляпунова для поиска устойчивости нелинейных систем. Применение второго метода Ляпунова для исследования устойчивости автоколебательных систем, описываемых уравнением Ван дер Поля. Определение параметрических систем. Параметрическая система на примере качелей. Параметрическая система на основе контура с нелинейной емкостью. Вывод укороченных уравнений. Усиление и ослабление собственных колебаний под параметрическим воздействием. Уравнение Матье. Определение коэффициента параметрического усиления. Сшивка уравнения для точек 0 и π . Решение системы алгебраических уравнений. Введение отношения периодов колебаний бета. Поиск областей усиления при крайне малом параметрическом воздействии. Определение областей параметрического резонанса по Мейснеру. Изменение областей параметрического резонанса в случае неконсервативной системы. Параметрический усилитель. Определения сильного и слабого резонанса. Недостатки одноконтурного параметрического усилителя.

Тема 12. Лекция 12 Системы с двумя степенями свободы. Двухконтурная автоколебательная система. Собственные колебания в линейных системах с n степенями свободы.

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Системы с двумя степенями свободы. Выбор координат, парциальные частоты. Получение уравнения движения для двух связанных контуров. Вывод собственных частот. Проверка выражения для собственных частот при нулевой связи между контурами. Выражения для собственных частот при малой связи между контурами. Расположение собственных частот относительно парциальных. Нулевая расстройка между контурами. Коэффициенты распределения амплитуд на собственных частотах. Выводы из уравнений для коэффициентов распределения амплитуд. Определение нормальных координат. График Вина. Коэффициенты распределения амплитуд при нулевой расстройке. Биения в системе двух связанных контуров. Вынужденные колебания в системах с двумя степенями свободы. АЧХ и ФЧХ. Фильтр-пробка. АЧХ системы с затуханием. АЧХ системы с нулевой расстройкой, оптимальная связь. Двухконтурная автоколебательная система. Режимы гашения и затягивания.

Тема 13. Лекция 13 Колебания в однородных цепочках. Вынужденные колебания в однородных цепочках.

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Собственные колебания в линейных системах с n степенями свободы. Модифицированное уравнение Лагранжа. Колебания n -атомной молекулы. Лазер на CO_2 . Определение однородной цепочки колебательных контуров без диссипации энергии. Элемент связи. Вывод уравнения движения для однородной цепочки колебательных контуров. Парциальная частота и коэффициент связи. Дисперсионное уравнение цепочки. Граничные условия. Собственные частоты. Колебания тока в контурах цепочки на s -собственной частоте. Вынужденные колебания в однородных цепочках. Дисперсионное уравнение цепочки. Прямая и обратная волны. Волновое сопротивление цепочки. Согласование нагрузки. Поведение цепочки контуров при частоте генератора вне полосы пропускания. АЧХ однородной цепочки колебательных контуров.

Тема 14. Лекция 14 Параметрические системы с n -степенями свободы. Двухконтурный параметрический усилитель и преобразователь частоты.

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Построение параметрических систем с n -степенями свободы. Квантование. Передача энергии между элементами. Вывод уравнений Менли-Роу. Двухконтурный регенеративный усилитель. Уравнения Менли-Роу в применении к двухконтурному регенеративному усилителю. Преобразователь частоты. Уравнения Менли-Роу в применении к преобразователю частоты.

Тема 15. Лекция 15 Колебания в распределенных системах. Автоколебания в распределенных системах. Хаотические колебательные системы. "Эффект бабочки". Странный аттрактор. Фракталы.

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Колебания в распределенных системах. Двухпроводная линия. Телеграфные уравнения. Уравнения распространения волны. Фазовая скорость. Предельный переход от однородной цепочки контуров к системе с распределенными параметрами. Волновое уравнение. Фазовая постоянная или волновое число. Волновое сопротивление линии. Дисперсия в системе с распределенными параметрами. Примеры систем с распределенными параметрами. Автоколебательные системы на основе систем с распределенными параметрами. Построение прецизионных генераторов с дискретно изменяемой частотой. Хаотические колебательные системы. Примеры хаотических колебательных систем. Фазовый портрет хаотической колебательной системы. Спектр хаотической системы. Аттрактор. Странный аттрактор. Аттрактор Лоренца. Эффект бабочки. Сечение Пуанкаре. Введение в теорию фракталов.

Тема 16. Подведение итогов. Зачет.

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Основные теоремы курса. Интерактивное обсуждение лекций.

Тема 17. Практическое занятие 1 Вывод уравнения для колебательных систем. Лианеризация уравнения колебаний. Расчет собственной частоты .

практическое занятие (2 часа(ов)):

<http://www.gmamin.kpfu.ru/to/pract/pract1.pdf> Рассматривается три способа вывода уравнения колебаний для основных систем, методы лианеризации и получения параметров колебательной системы. В качестве примера решается 1 задача всеми тремя способами. Студенты самостоятельно решают 3 задачи с последующим разбором их решения у доски в аудитории.

Тема 18. Практическое занятие 2 Построение фазовых портретов. Метод средней крутизны для автоколебательных систем.

практическое занятие (2 часа(ов)):

<http://www.gmamin.kpfu.ru/to/pract/pract2-3.pdf> Рассматриваются основные определения фазовой плоскости. В качестве примера решается 2 типовых задачи по механике. Студенты самостоятельно решают еще 1 задачу с последующим разбором ее решения у доски в аудитории. В качестве примера решается еще 1 типовая задачи по радиоп физике. Студенты самостоятельно решают еще 3 задачи с последующим разбором их решения у доски в аудитории.

Тема 19. Практическое занятие 3 Применение метода медленно-меняющихся амплитуд. Определение устойчивости колебательной системы.

практическое занятие (2 часа(ов)):

<http://www.gmamin.kpfu.ru/to/pract/pract4.pdf> Рассматривается применение метода медленно-меняющихся амплитуд. В качестве примера решается 1 типовая задача в полярных координатах. Студенты самостоятельно решают ее же в координатах Ван-дер-Поля с последующим разбором их решения у доски в аудитории. Используя полученный результат рассматривается устойчивость колебательной системы. Студенты решают ее усложненную задачу на устойчивость с последующим разбором их решения у доски в аудитории.

Тема 20. Практическое занятие 4 Системы с многими степенями свободы.

практическое занятие (2 часа(ов)):

<http://www.gmamin.kpfu.ru/to/pract/pract5.pdf> Рассматриваются основные приемы определения количества обобщенных координат и построения уравнения движения систем с многими степенями свободы. В качестве примера решается 2 типовые задачи. Студенты самостоятельно решают еще несколько задач с разбором их решения у доски в аудитории.

Тема 21. Практическое занятие 5 Контрольная работа .

практическое занятие (2 часа(ов)):

Проводится контрольная работа из трех задач.

Тема 22. Самостоятельная работа 1 Ознакомление с классификацией теории колебаний. Ознакомление с основами радиоэлектроники.

Тема 23. Самостоятельная работа 2 Расчет фазового портрета линейной консервативной системы с одной степенью свободы. Расчет фазовых траекторий линейной консервативной системы с одной степенью свободы при изменении частоты.

- Тема 24. Самостоятельная работа 3 Расчет фазового портрета колебательного LC контура при наличии затухания и без него. Определение максимального тока через индуктивность L , если максимальное напряжение на контуре U .**
- Тема 25. Самостоятельная работа 4 Расчет фазового портрета линейной неконсервативной системы с одной степенью свободы в случае положительного и отрицательного затухания. Влияние добротности на фазовые траектории.**
- Тема 26. Самостоятельная работа 5 Расчет фазового портрета линейной неконсервативной системы с одной степенью свободы в случае сильного затухания. Влияние начальных условий на траекторию движения.**
- Тема 27. Самостоятельная работа 6 Расчет фазового портрета линейной системы с отталкивающей силой**
- Тема 28. Самостоятельная работа 7 Расчет фазового портрета математического маятника.**
- Тема 29. Самостоятельная работа 8 Расчет фазового портрета системы с сухим трением.**
- Тема 30. Самостоятельная работа 9 Расчет фазового портрета методом Лъенара**
- Тема 31. Самостоятельная работа 10 Расчет АЧХ и ФЧХ колебательного контура (вынужденные колебания).**
- Тема 32. Самостоятельная работа 11 Расчет АЧХ нелинейной системы (вынужденные колебания). Определение зоны неустойчивости и области феррорезонанса.**
- Тема 33. Самостоятельная работа 12 Расчет фазового портрета автоколебательной системы при различных параметрах системы. Условие самовозбуждения. Мягкий, жесткий режимы самовозбуждения.**
- Тема 34. Самостоятельная работа 13 Расчет фазового портрета автоколебательной системы описываемой уравнением Ван-дер-Поля.**
- Тема 35. Самостоятельная работа 14 Применение метода методом медленно-меняющихся амплитуд при расчете фазового портрета автоколебательной системы (уравнение Ван-дер-Поля).**
- Тема 36. Самостоятельная работа 15 Релаксационные генераторы. Переход от невырожденных колебательных систем к вырожденным.**
- Тема 37. Самостоятельная работа 16 Ознакомление с критериями устойчивости колебательных систем (кроме критериев Ляпунова)**
- Тема 38. Самостоятельная работа 17 Расчет параметрически регенерированного контура. Случаи усиления и ослабления колебаний.**
- Тема 39. Самостоятельная работа 18 Расчет зон параметрической регенерации по Мейснеру**
- Тема 40. Самостоятельная работа 19 Расчет собственных колебаний в двух связанных контурах. Наблюдение перераспределения энергии из одного контура в другой.**
- Тема 41. Самостоятельная работа 20 Расчет графика Вина**
- Тема 42. Самостоятельная работа 21 Расчет АЧХ и ФЧХ двух связанных контуров (вынужденные колебания).**
- Тема 43. Самостоятельная работа 22 Расчет двухконтурной автоколебательной системы**
- Тема 44. Самостоятельная работа 23 Системы с многими степенями свободы. Расчет колебаний трехатомной линейной молекулы (Дополнения к лекциям.). Ознакомление с основами квантовой механики. Квант, энергия, уровни энергии.**
- Тема 45. Самостоятельная работа 24 Колебательные системы с распределенными параметрами. Определение волнового сопротивления витой пары.**
- Тема 46. Самостоятельная работа 25 Колебательные системы с распределенными параметрами. Определение волнового сопротивления коаксиального кабеля.**
- Тема 47. Самостоятельная работа 26 Расчет фазового портрета хаотической системы. Наблюдение странного аттрактора.**
- Тема 48. Самостоятельная работа 27 Изучение поведения хаотической системы при изменении амплитуды модуляции.**

4.3 Структура и содержание самостоятельной работы дисциплины (модуля)

№	Раздел Дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды самостоятельной работы студентов	Трудоемкость (в часах)	Формы контроля самостоятельной работы
22.	Тема 22. Самостоятельная работа 1 Ознакомление с классификацией теории колебаний. Ознакомление с основами радиоэлектроники.	5	1	Чтение литературы по курсам механика, электричество и магнетизм. Подготовка краткого отчета о встречах	1	отчет
23.	Тема 23. Самостоятельная работа 2 Расчет фазового портрета линейной консервативной системы с одной степенью свободы. Расчет фазовых траекторий линейной консервативной системы с одной степенью свободы при изменении частоты.	5	2	Расчет фазового портрета линейной консервативной системы с одной степенью свободы на основе web-инте	1	отчет
24.	Тема 24. Самостоятельная работа 3 Расчет фазового портрета колебательного LC контура при наличии затухания и без него. Определение максимального тока через индуктивность L, если максимальное напряжение на контуре U.	5	2	Расчет фазового портрета колебательного LC контура при наличии затухания и без него на основе web-ин	1	отчет
25.	Тема 25. Самостоятельная работа 4 Расчет фазового портрета линейной неконсервативной системы с одной степенью свободы в случае положительного и отрицательного затухания. Влияние добротности на фазовые траектории.	5	3	Расчет фазового портрета линейной неконсервативной системы с одной степенью свободы в случае положит	1	отчет

N	Раздел Дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды самостоятельной работы студентов	Трудоемкость (в часах)	Формы контроля самостоятельной работы
26.	Тема 26. Самостоятельная работа 5 Расчет фазового портрета линейной неконсервативной системы с одной степенью свободы в случае сильного затухания. Влияние начальных условий на траекторию движения.	5	3	Расчет фазового портрета линейной неконсервативной системы с одной степенью свободы в случае сильн	1	отчет
27.	Тема 27. Самостоятельная работа 6 Расчет фазового портрета линейной системы с отталкивающей силой	5	4	Расчет фазового портрета линейной системы с отталкивающей силой на основе web-интерфейса самостоятел	1	отчет
28.	Тема 28. Самостоятельная работа 7 Расчет фазового портрета математического маятника.	5	4	Расчет фазового портрета математического маятника при разных начальных условиях на основе web-интерф	1	отчет
29.	Тема 29. Самостоятельная работа 8 Расчет фазового портрета системы с сухим трением.	5	4	Расчет фазового портрета системы с сухим трением на основе web-интерфейса самостоятельной работы (ht	1	отчет
30.	Тема 30. Самостоятельная работа 9 Расчет фазового портрета методом Льенара	5	5	Расчет фазового портрета методом Льенара для затухания вида $Ax+Bx^3+Cx^5$ на основе web-интерфейса	1	отчет

N	Раздел Дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды самостоятельной работы студентов	Трудоемкость (в часах)	Формы контроля самостоятельной работы
31.	Тема 31. Самостоятельная работа 10 Расчет АЧХ и ФЧХ колебательного контура (вынужденные колебания).	5	6	Расчет АЧХ и ФЧХ колебательного контура (вынужденные колебания) на основе web-интерфейса самостоятел	1	отчет
32.	Тема 32. Самостоятельная работа 11 Расчет АЧХ нелинейной системы (вынужденные колебания). Определение зоны неустойчивости и области феррорезонанса.	5	7	Расчет АЧХ нелинейной системы (вынужденные колебания) на основе web-интерфейса самостоятельной работ	1	отчет
33.	Тема 33. Самостоятельная работа 12 Расчет фазового портрета автоколебательной системы при различных параметрах системы. Условие самовозбуждения. Мягкий, жесткий режимы самовозбуждения.	5	8	Расчет фазового портрета автоколебательной системы при различных параметрах системына основе web-инт	2	отчет
34.	Тема 34. Самостоятельная работа 13 Расчет фазового портрета автоколебательной системы описываемой уравнением Ван-дер-Поля.	5	9	Расчет фазового портрета автоколебательной системы описываемой уравнением Ван-дер-Поля на основе web	1	отчет
35.	Тема 35. Самостоятельная работа 14 Применение метода методом медленно-меняющихся амплитуд при расчете фазового портрета автоколебательной системы (уравнение Ван-дер-Поля).	5	9	Расчет с применением метода методом медленно-меняющихся, амплитуд при расчете фазового портрета авток	1	отчет

N	Раздел Дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды самостоятельной работы студентов	Трудоемкость (в часах)	Формы контроля самостоятельной работы
36.	Тема 36. Самостоятельная работа 15 Релаксационные генераторы. Переход от невырожденных колебательных систем к вырожденным.	5	10	Релаксационные генераторы на основе web-интерфейса самостоятельной работы (http://www.gmamin.kpfu.ru)	1	отчет
37.	Тема 37. Самостоятельная работа 16 Ознакомление с критериями устойчивости колебательных систем (кроме критериев Ляпунова)	5	11	Поиск дополнительной литературы о критериях устойчивости колебательных систем. Оформление результата	2	устный опрос
38.	Тема 38. Самостоятельная работа 17 Расчет параметрически регенерированного контура. Случаи усиления и ослабления колебаний.	5	11	Расчет параметрически регенерированного контура на основе web-интерфейса самостоятельной работы (htt	1	отчет
39.	Тема 39. Самостоятельная работа 18 Расчет зон параметрической регенерации по Мейснеру	5	11	Расчет зон параметрической регенерации по Мейснеру на основе web-интерфейса самостоятельной работы (1	отчет
40.	Тема 40. Самостоятельная работа 19 Расчет собственных колебаний в двух связанных контурах. Наблюдение перераспределения энергии из одного контура в другой.	5	12	Расчет собственных колебаний в двух связанных контурах на основе web-интерфейса самостоятельной рабо	1	отчет
41.	Тема 41. Самостоятельная работа 20 Расчет графика Вина	5	12	Расчет графика Вина на основе web-интерфейса самостоятельной работы (http://www.gmamin.kpfu.ru/to/se)	1	отчет

N	Раздел Дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды самостоятельной работы студентов	Трудоемкость (в часах)	Формы контроля самостоятельной работы
42.	Тема 42. Самостоятельная работа 21 Расчет АЧХ и ФЧХ двух связанных контуров (вынужденные колебания).	5	12	Расчет АЧХ и ФЧХ двух связанных контуров (вынужденные колебания) на основе web-интерфейса самостояте	1	отчет
43.	Тема 43. Самостоятельная работа 22 Расчет двухконтурной автоколебательной системы	5	12	Расчет двухконтурной автоколебательной системы на основе web-интерфейса самостоятельной работы (htt	1	отчет
44.	Тема 44. Самостоятельная работа 23 Системы с многими степенями свободы. Расчет колебаний трехатомной линейной молекулы (Дополнения к лекциям.). Ознакомление с основами квантовой механики. Квант, энергия, уровни энергии.	5	13	Вывод уравнений колебаний трехатомной линейной молекулы (Дополнения к лекциям.). Ознакомление с осно	2	устный опрос
45.	Тема 45. Самостоятельная работа 24 Колебательные системы с распределенными параметрами. Определение волнового сопротивления витой пары.	5	14	Определение волнового сопротивления заданной витой пары на основе web-интерфейса самостоятельной раб	1	отчет

N	Раздел Дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды самостоятельной работы студентов	Трудоемкость (в часах)	Формы контроля самостоятельной работы
46.	Тема 46. Самостоятельная работа 25 Колебательные системы с распределенными параметрами. Определение волнового сопротивления коаксиального кабеля.	5	14	Определение волнового сопротивления заданного коаксиального кабеля на основе web-интерфейса самостоя	1	отчет
47.	Тема 47. Самостоятельная работа 26 Расчет фазового портрета хаотической системы. Наблюдение странного аттрактора.	5	15	Расчет фазового портрета хаотической системы на основе web-интерфейса самостоятельной работы (http://	1	отчет
48.	Тема 48. Самостоятельная работа 27 Изучение поведения хаотической системы при изменении амплитуды модуляции.	5	16	Расчет фазового портрета хаотической системы на основе web-интерфейса самостоятельной работы (http://	1	отчет
	Итого				30	

5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения

Лекционные и практические занятия проводятся с использованием мультимедийного комплекса, позволяющего наглядно получать студентам всю необходимую информацию. Занятия проводятся в интерактивной форме, позволяющей студентам лучше усваивать материал. В лекциях уделено большое внимание разбору конкретных ситуаций возможных для реальных устройств, таких как генераторы, приемники, длинные линии и т.п. Читаемый курс лекций размещен в интернете "<http://www.gmamin.kpfu.ru/to/lecture.php>".

Для изучения студентами поведения основных физических систем теории колебаний в режиме реального времени были разработаны следующие компьютерные программы, проводящие компьютерную симуляцию колебательных систем, с использованием выведенные на лекциях дифференциальных уравнений, и представляющие результат в виде графиков и движения 3D объектов:

Pendulum_simple.exe - Моделирование движения математического маятника

LCtank_simple.exe - Моделирование процессов в колебательном контуре.

Pendulum_phase.exe- Изображение движения математического маятника на фазовой плоскости.

LCtank_phase.exe - Изображение процессов в колебательном контуре на фазовой плоскости.

Pendulum_spring.exe Изображение движения пружинного маятника на фазовой плоскости, для случаев жесткой, линейной и мягкой характеристик.

Saw_tooth_osci.exe - Изображение процессов в релаксационном генераторе на фазовой плоскости.

Two_pend.exe - Поведение системы с двумя степенями свободы на примере двух связанных математических маятников

Иллюстрации к лекциям приведены в электронном виде (<http://www.gmamin.kpfu.ru/to/lecture.php>).

Практические занятия состоят из рассмотрения способов решения задач на занятиях и самостоятельного решения задач студентами в часы самостоятельной работы. Практические занятия проводятся в интерактивном режиме с помощью комплекта мультимедийного оборудования. Это позволяет отображать движение основных объектов теории колебаний (<http://www.gmamin.kpfu.ru/to/practice.htm>). Иллюстрации к практическим занятиям приведены в приложении 2

Самостоятельная работа по усвоению лекционного материала студентами состоит из теоретической (приведена в приложении 3) и практической частей. Практическая часть, в основном, включает расчеты с помощью специальных программ компьютерной симуляции в интернет-приложениях (<http://www.gmamin.kpfu.ru/to/selfwork.php>), работа с которыми осуществляется в интерактивном режиме. Задания для самостоятельной работы формируются специальной программой "StudentWork.exe", причем для исключения совместного выполнения заданий, параметры колебательных систем выбираются различными для каждого студента. Задания даются студентам в конце лекции, как в бумажном, так и в электронном виде на web-сайте (<http://www.gmamin.kpfu.ru/to/controlstudentwork.php>).

6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов

Тема 1. Лекция 1 Введение в теорию колебаний. Классификация колебаний. Колебания в экологической системе.

Тема 2. Лекция 2 Собственные колебания в линейной консервативной системе с одной степенью свободы. Метод фазовой плоскости. Фазовый портрет линейной консервативной системы. Собственные колебания в линейной неконсервативной системе с одной степенью свободы.

Тема 3. Лекция 3 Построение фазовых портретов методом изоклин. Фазовый портрет линейной неконсервативной системы. Собственные колебания в линейной неконсервативной системе с одной степенью свободы в случае сильного затухания. Фазовый портрет.

Тема 4. Лекция 4 Движение в системе с отталкивающей силой. Свободные колебания в нелинейных системах.

Тема 5. Лекция 5 Построение ФП методом Льенара. Вынужденные колебания в линейной системе с одной степенью свободы.

Тема 6. Лекция 6 Вынужденные колебания в линейной системе с одной степенью свободы. Вынужденные колебания в нелинейной системе с одной степенью свободы без диссипации энергии (задача Дуффинга).

Тема 7. Лекция 7 Вынужденные колебания в нелинейной системе с одной степенью свободы с диссипацией энергии (задача Дуффинга).

Тема 8. Лекция 8 Автоколебательные системы с одной степенью свободы. Примеры генераторов. Уравнения Ван-дер-Поля и Релея. Фазовый портрет. Частота генерируемых колебаний.

Тема 9. Лекция 9 Метод медленно меняющихся амплитуд. Координаты Ван-дер-Поля. Метод медленно меняющихся амплитуд в полярных координатах. Решение уравнения Ван дер Поля.

Тема 10. Лекция 10 Релаксационные генераторы. Предельный переход от невырожденных колебательных систем к вырожденным.

Тема 11. Лекция 11 Устойчивость колебательных систем. Параметрический резонанс. Определение областей параметрического резонанса по Мейснеру. Параметрический усилитель.

Тема 12. Лекция 12 Системы с двумя степенями свободы. Двухконтурная автоколебательная система. Собственные колебания в линейных системах с n степенями свободы.

Тема 13. Лекция 13 Колебания в однородных цепочках. Вынужденные колебания в однородных цепочках.

Тема 14. Лекция 14 Параметрические системы с n -степенями свободы. Двухконтурный параметрический усилитель и преобразователь частоты.

Тема 15. Лекция 15 Колебания в распределенных системах. Автоколебания в распределенных системах. Хаотические колебательные системы. "Эффект бабочки". Странный аттрактор. Фракталы.

Тема 16. Подведение итогов. Зачет.

Тема 17. Практическое занятие 1 Вывод уравнения для колебательных систем. Лианеризация уравнения колебаний. Расчет собственной частоты .

Тема 18. Практическое занятие 2 Построение фазовых портретов. Метод средней крутизны для автоколебательных систем.

Тема 19. Практическое занятие 3 Применение метода медленно-меняющихся амплитуд. Определение устойчивости колебательной системы.

Тема 20. Практическое занятие 4 Системы с многими степенями свободы.

Тема 21. Практическое занятие 5 Контрольная работа .

Тема 22. Самостоятельная работа 1 Ознакомление с классификацией теории колебаний. Ознакомление с основами радиоэлектроники.

отчет , примерные вопросы:

Студент должен правильно нарисовать колебательный контур.

Тема 23. Самостоятельная работа 2 Расчет фазового портрета линейной консервативной системы с одной степенью свободы. Расчет фазовых траекторий линейной консервативной системы с одной степенью свободы при изменении частоты.

отчет , примерные вопросы:

Пример задания для отчета Нарисовать фазовую траекторию для линейной консервативной системы с одной степенью свободы с частотой $\omega(I)=2$ с⁻¹ и начальными условиями $X_0=0$ и $Y_0=4$ Добавить на рисунок фазовую траекторию для системы с частотой $\omega(II)=10$ с⁻¹.

Расчитать периоды колебаний для обоих круговых частот : $T(I) = \underline{\hspace{2cm}}$ с
 $T(II)=\underline{\hspace{2cm}}$ с

Тема 24. Самостоятельная работа 3 Расчет фазового портрета колебательного LC контура при наличии затухания и без него. Определение максимального тока через индуктивность L , если максимальное напряжение на контуре U .

отчет , примерные вопросы:

Пример задания для отчета Нарисовать фазовую траекторию для LC колебательного контура с затуханием с $L=0.5$ мкГн, $C=1.5$ нФ, $R=1.8$ Ом. и начальными условиями $X_0=0$ В и $Y_0=1$ мА

Расчитать линейную частоту собственных колебаний и добротность $NU=\underline{\hspace{2cm}}$ МГц
 $Q=\underline{\hspace{2cm}}$

Тема 25. Самостоятельная работа 4 Расчет фазового портрета линейной неконсервативной системы с одной степенью свободы в случае положительного и отрицательного затухания. Влияние добротности на фазовые траектории.

отчет , примерные вопросы:

Пример задания для отчета Нарисовать фазовую траекторию для линейной неконсервативной системы с одной степенью свободы с частотой $\omega(I)=2$ с⁻¹ и начальными условиями $X_0=0$ и $Y_0=4$ Добавить на рисунок фазовую траекторию для системы с частотой $\omega(II)=10$ с⁻¹.

Тема 26. Самостоятельная работа 5 Расчет фазового портрета линейной неконсервативной системы с одной степенью свободы в случае сильного затухания. Влияние начальных условий на траекторию движения.

отчет , примерные вопросы:

Пример задания для отчета Нарисовать три фазовых траектории для линейной неконсервативной системы с одной степенью свободы для случая сильного затухания с частотой $\omega(l)=1$ с-1 и $d=1.7$ с-1, с начальными условиями $X(I)0=-2.225$ и $Y(I)0=5.61782$ $X(II)0=-8.9$ и $Y(II)0=56.7306$ $X(III)0=-8.9$ и $Y(III)0=-36.7064$ Зелеными (более светлыми) линиями на фазовой плоскости изображены координаты X. и Y., а малиновыми (темными) изоклины.

Тема 27. Самостоятельная работа 6 Расчет фазового портрета линейной системы с отталкивающей силой

отчет , примерные вопросы:

Пример задания для отчета Нарисовать три фазовых траектории для линейной неконсервативной системы с одной степенью свободы в случае отталкивающей силы частота $\omega(l)=9.9$ с-1 и $d=1.2$ с-1, Первая фазовая траектория соответствует движению: справа-налево вторая: только слева третья: слева - направо Цифрами или цветом (1-красный, 2-зеленый, 3-синий) указать номер фазовой траектории. Рассчитывать фазовые траектории необязательно. Зелеными (более светлыми) линиями на фазовой плоскости изображены интегральные кривые.

Тема 28. Самостоятельная работа 7 Расчет фазового портрета математического маятника.

отчет , примерные вопросы:

Пример задания для отчета Нарисовать три фазовых траектории для математического маятника без затухания в случае произвольного угла частота $\omega(l)=1$ с-1, Первая фазовая траектория соответствует: почти линейным колебаниям вторая: сильно нелинейным колебаниям третья: вращению по против часовой стрелки Цифрами или цветом (1-красный, 2-зеленый, 3-синий) указать номер фазовой траектории. Рассчитывать фазовые траектории необязательно.

Тема 29. Самостоятельная работа 8 Расчет фазового портрета системы с сухим трением.

отчет , примерные вопросы:

Пример задания для отчета Нарисовать фазовую траекторию для системы с сухим трением со следующими параметрами: собственная частота $\omega_0=1$ с-1, сила сухого трения $F_0=0.4$ и начальными условиями $X_0=3.7$ и $Y_0=0$ Желтые (светлые) линии соответствуют $x=+F_0$ и $x=-F_0$ Рассчитывать фазовую траекторию необязательно.

Тема 30. Самостоятельная работа 9 Расчет фазового портрета методом Лъенара

отчет , примерные вопросы:

Пример задания для отчета Построение фазовых портретов методом Лъенара. Дифференциальное уравнение движения системы задано в собственном времени $x+f(x)+x=0$ Уравнение $x=-f(x)$ задано в графическом виде и соответствует светлой (зеленой) кривой на рисунке. Начальная изображающая точка соответствует центру окружности. Сделать три итерации в методе Лъенара, нанеся на фазовую плоскость все элементы построения. Шаг итераций выбрать равным 1. Все построения выполнить на бумаге, web-программу не использовать.

Тема 31. Самостоятельная работа 10 Расчет АЧХ и ФЧХ колебательного контура (вынужденные колебания).

отчет , примерные вопросы:

Пример задания для отчета Расчет АЧХ и ФЧХ колебательного контура (вынужденные колебания) . Построить амплитудно-частотную характеристику LC-контура. Вычислить параметры L, C, R (или подобрать), чтобы резонансная частота контура $\omega_0 = 0.9$ МГц, добротность $Q= 8$ При построении использовать значения $\omega_{Min} 0.4$ MHz и $\omega_{Max} 3$ MHz. Оценить полосу пропускания контура $\Delta\omega =$ _____ МГц. Оценить "усиление" контура $E_{max}/E =$ _____.

Тема 32. Самостоятельная работа 11 Расчет АЧХ нелинейной системы (вынужденные колебания). Определение зоны неустойчивости и области феррорезонанса.

отчет , примерные вопросы:

Пример задания для отчета Расчет АЧХ нелинейной системы. Построить амплитудно-частотную характеристику LC-контура с катушкой намотанной ферритовом стержне. $C=8$ нФ, $R=1.4$ ом, длина катушки $l=2$ см, число витков $N=112$ Использовать два значения аплитуды генератора. $E(I)0=0.33$ и $E(II)0=0.145$ (кривые обозначить цифрами I и II) Серая линия соответствует кривой Расчитанные значения $ro(I) = 0.0037159$, $ro(II) = 0.00163275$ $beta = 0.00134634$ и $beta=0.000994643$ В каких случаях может наблюдатся феррорезонанс? поставить галочку: Только для значения $E(I)0$; Только для значения $E(II)0$; Для значений $E(I)0$ и $E(II)0$; Ни в для одного значения;

Тема 33. Самостоятельная работа 12 Расчет фазового портрета автоколебательной системы при различных параметрах системы. Условие самовозбуждения. Мягкий, жесткий режимы самовозбуждения.

отчет , примерные вопросы:

Пример задания для отчета Расчет фазового портрета автоколебательной системы Построить предельный цикл для генератора на полевом транзисторе с параметрами. $L=23$ мкГн, $C=5.34783$ нФ, $R(I)=0.5$ Ом, $M(I)=2.22826$ мкГн/А. Построить еще один предельный цикл изменив $R(I)$ и $M(I)$ на $R(II)=7.5$ Ом, $M(II)=17.4386$ мкГн/А. Начальное значение U_0 можно оценить исходя из уравнения средней крутизны в районе предельного цикла $Scp=6$ [Ом нФ А / мкГн] / V [В]. Какой из двух предельных циклов соответствует более гармоническим колебаниям? первый. второй.

Тема 34. Самостоятельная работа 13 Расчет фазового портрета автоколебательной системы описываемой уравнением Ван-дер-Поля.

отчет , примерные вопросы:

Пример задания для отчета Расчет фазового портрета автоколебательной системы (уравнение Ван-дер-Поля) Построить предельный цикл для генератора описываемого уравнением Ван-дер-Поля с параметрами. $L=23$ мкГн, $C=5.34783$ нФ, $R(I)=0.5$ Ом, $M(I)=2.22826$ мкГн/А. Построить еще один предельный цикл изменив $R(I)$ и $M(I)$ на $R(II)=7.5$ Ом, $M(II)=17.4386$ мкГн/А. Начальное значение U_0 можно оценить исходя из уравнения средней крутизны в районе предельного цикла $Scp=6$ [Ом нФ А / мкГн] / V [В]

Тема 35. Самостоятельная работа 14 Применение метода методом медленно-меняющихся амплитуд при расчете фазового портрета автоколебательной системы (уравнение Ван-дер-Поля).

отчет , примерные вопросы:

Пример задания для отчета Расчет фазового портрета ур-е Ван дер Поля с использованием метода ММА Построить предельный цикл для генератора описываемого уравнением Ван-дер-Поля с параметрами: $L=23$ мкГн, $C=5.34783$ нФ, $R(I)=0.5$ Ом, $M(I)=2.22826$ мкГн/А, $E_0=0$. Построить еще один предельный цикл изменив $R(I)$ и $M(I)$ на $R(II)=7.5$ Ом, $M(II)=17.4386$ мкГн/А. Начальное значение U_0 можно оценить исходя из уравнения средней крутизны в районе предельного цикла $Scp=6$ [Ом нФ А / мкГн] / V [В]. Какому типу колебаний соответствует полученный предельный цикл Гармоническому Негармоническому

Тема 36. Самостоятельная работа 15 Релаксационные генераторы. Переход от невырожденных колебательных систем к вырожденным.

отчет , примерные вопросы:

Самостоятельное изучение теории, данной на лекции, с помощью численных методов. Отчет строится в свободном стиле.

Тема 37. Самостоятельная работа 16 Ознакомление с критериями устойчивости колебательных систем (кроме критериев Ляпунова)

устный опрос , примерные вопросы:

Студент должен знать основные критерии устойчивости

Тема 38. Самостоятельная работа 17 Расчет параметрически регенерированного контура. Случаи усиления и ослабления колебаний.

отчет , примерные вопросы:

Самостоятельное изучение теории, данной на лекции, с помощью численных методов. Отчет строится в свободном стиле.

Тема 39. Самостоятельная работа 18 Расчет зон параметрической регенерации по Мейснеру

отчет , примерные вопросы:

Самостоятельное изучение теории, данной на лекции, с помощью численных методов. Отчет строится в свободном стиле.

Тема 40. Самостоятельная работа 19 Расчет собственных колебаний в двух связанных контурах. Наблюдение перераспределения энергии из одного контура в другой.

отчет , примерные вопросы:

Самостоятельное изучение теории, данной на лекции, с помощью численных методов. Отчет строится в свободном стиле.

Тема 41. Самостоятельная работа 20 Расчет графика Вина

отчет , примерные вопросы:

Самостоятельное изучение теории, данной на лекции, с помощью численных методов. Отчет строится в свободном стиле.

Тема 42. Самостоятельная работа 21 Расчет АЧХ и ФЧХ двух связанных контуров (вынужденные колебания).

отчет , примерные вопросы:

Пример задания для отчета Расчет АЧХ двух связанных контуров (вынужденные колебания)

Построить АЧХ тока в первом контуре для двух связанных контуров с параметрами: $\nu_1 = \nu_2 = 1.1$ МГц, $m_{1,2} = 0.3$ $d(l) = 0.136364$ $E = 1$. Построить еще одну АЧХ, изменив коэффициент затухания $d(l) = 0.3$ $\min \nu = 0.1$; $\max \nu = 3.5$; Какой случай соответствует оптимальной связи? [] Первый [] второй

Тема 43. Самостоятельная работа 22 Расчет двухконтурной автоколебательной системы

отчет , примерные вопросы:

Пример задания для отчета Расчет двухконтурной автоколебательной системы Построить фазовую траекторию для двухконтурной автоколебательной системы: $\nu_1 = \nu_2 = 1$ МГц, $d = 0.05$, $M = 20$, $I_0 = 1$; для случая $m_{1,2}(l) = 0$ и случая $m_{1,2}(l) = 0.082$ Как называется наблюдаемое на фазовой плоскости явление?

Тема 44. Самостоятельная работа 23 Системы с многими степенями свободы. Расчет колебаний трехатомной линейной молекулы (Дополнения к лекциям.). Ознакомление с основами квантовой механики. Квант, энергия, уровни энергии.

устный опрос , примерные вопросы:

Студент должен получить основные уравнения и знать характер движения атомов в молекуле.

Тема 45. Самостоятельная работа 24 Колебательные системы с распределенными параметрами. Определение волнового сопротивления витой пары.

отчет , примерные вопросы:

Студент должен получить правильное значение для заданного образца.

Тема 46. Самостоятельная работа 25 Колебательные системы с распределенными параметрами. Определение волнового сопротивления коаксиального кабеля.

отчет , примерные вопросы:

Студент должен получить правильное значение для заданного образца.

Тема 47. Самостоятельная работа 26 Расчет фазового портрета хаотической системы. Наблюдение странного аттрактора.

отчет , примерные вопросы:

Самостоятельное изучение теории, данной на лекции, с помощью численных методов. Отчет строится в свободном стиле.

Тема 48. Самостоятельная работа 27 Изучение поведения хаотической системы при изменении амплитуды модуляции.

отчет , примерные вопросы:

Самостоятельное изучение теории, данной на лекции, с помощью численных методов. Отчет строится в свободном стиле.

Тема . Итоговая форма контроля

Примерные вопросы к зачету:

Список основных вопросов теста дисциплины состоит из 400 позиций и находится на странице <http://gmamin.kpfu.ru/to/testTO.php>.

Ниже приводится список дополнительных вопросов курса:

- 1 Предмет теории колебаний. Классификация колебаний.
- 2 Исследование устойчивости решений задачи Дуффинга.
- 3 Собственные колебания в линейной консервативной системе с одной степенью свободы. Метод фазовой плоскости (ФП). ФП линейной консервативной системы.
- 4 Колебания в однородных цепочках из LC контуров. Нижняя и верхняя граничные частоты. Распределение амплитуд собственных колебаний по звеньям цепочки при граничных условиях.
- 5 Собственные колебания в линейной неконсервативной системе с одной степенью свободы.
- 6 Определение областей параметрического резонанса по Мейснеру.
- 7 Метод изоклин (на примере линейной неконсервативной системы).
- 8 Релаксационный генератор с нелинейным элементом, обладающим S-образной вольт-амперной характеристикой. Фазовый портрет.
- 9 Собственные колебания в линейной консервативной системе с одной степенью свободы в случае сильного затухания.
- 10 Уравнения Мэнли-Роу. Двухконтурные параметрические усилители.
- 11 Устойчивость состояния равновесия. Определения.
- 12 Предельный переход от невырожденных колебательных систем к вырожденным.
- 13 Собственные колебания в системе с отталкивающей силой.
- 14 Системы с двумя степенями свободы. Понятие парциальных частот. Собственные частоты системы из двух связанных LC контуров. График Вина. Передача энергии из одного контура в другой при нулевой расстройке.
- 15 Диаграмма особых точек линейной системы с одной степенью свободы.
- 16 Вынужденные колебания в системе двух связанных LC контуров. АЧХ системы двух связанных LC контуров в отсутствие затухания и при его наличии.
- 17 ФП математического маятника. Общий случай.
- 18 Параметрическое воздействие на колебательный контур.
- 19 Собственные колебания в системе с сухим трением.
- 20 Релаксационные генераторы. Генератор на неоновой лампе.
- 21 Метод Лъенара построения ФП. ФП линейной неконсервативной системы.
- 22 Собственные колебания в линейных системах с n степенями свободы. Матричное представление уравнения гармонического осциллятора.
- 23 Вынужденные колебания в линейной консервативной системе.
- 24 Количество колебательных степеней свободы n -атомной молекулы. Типы колебаний и собственные частоты молекулы CO_2 . Использование колебательных уровней молекулы CO_2 в лазерах.
- 25 Вынужденные колебания в линейной неконсервативной системе.
- 26 Хаотические колебательные системы.
- 27 Вынужденные колебания в нелинейной консервативной системе. Задача Дуффинга.
- 28 Вынужденные колебания в однородных цепочках. Волновое сопротивление цепочки. Прямая и отраженная волна. АЧХ однородной цепочки из LC контуров.
- 29 Автоколебательные системы. Генератор на полевом транзисторе. Метод средней крутизны.
- 30 Колебания в однородных цепочках из LC контуров. Нижняя и верхняя граничные частоты. Распределение амплитуд собственных колебаний по звеньям цепочки при граничных условиях.

- 31 Уравнение Ван-дер-Поля. Интегрирование в приближении медленного изменения амплитуды.
- 32 Распространение колебаний в СВЧ волноводе
- 33 Метод медленно меняющихся амплитуд. Координаты Ван-дер-Поля.
- 34 Колебания в распределенных системах. Волновое уравнение. Телеграфные уравнения и их связь с волновым уравнением. Предельный переход от однородной цепочки из LC контуров к телеграфной линии. Волновое сопротивление.
- 35 Метод ММА в полярных координатах
- 36 Параметрическое воздействие на мат. маятник. ("раскачивание качелей")
- 37 Второй метод Ляпунова анализа устойчивости. Устойчивость стационарных состояний нелинейных систем.
- 38 Граничные условия и резонансные системы. Автоколебательные системы с распределенными параметрами.

7.1. Основная литература:

1. Савельев, И.В. Курс физики. В 3 т. Том 2. Электричество. Колебания и волны. Волновая оптика / И.В. Савельев // СПб.: Лань, 2006. - 480 с.
2. Горелик, Г. С. Колебания и волны. Введение в акустику, радиоп физика и оптику [Электронный ресурс] / Г. С. Горелик; под ред. С. М. Рытова. - 3-е изд. - М. : ФИЗМАТЛИТ, 2008. - 656 с. - ISBN 978-5-9221-0776-1. Режим доступа: - <http://znanium.com/bookread.php?book=416548>
3. Ландау, Л. Теоретическая физика / Л. Ландау, Е. Лифшиц // Издательство: ФИЗМАТЛИТ. - 2006 г. -224 стр.
4. Физика: Механика. Механические колебания и волны. Молекулярная физика. Термодинамика: Учебное пособие / С.И. Кузнецов. - 4-е изд., испр. и доп. - М.: Вузовский учебник: НИЦ ИНФРА-М, 2014. - 248 с.: 60x90 1/16. (п) ISBN 978-5-9558-0317-3, 700 экз. <http://znanium.com/bookread.php?book=412940>

7.2. Дополнительная литература:

1. Леденев, А. Н. Физика. Книга 4. Колебания и волны. Оптика [Электронный ресурс] : учебное пособие в 5 книгах / А. Н. Леденев. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. - 256 с. - ISBN 5-9221-0464-0. Режим доступа: - <http://znanium.com/bookread.php?book=421368>
2. Стрелков С.П. Введение в теорию колебаний. [Электронный ресурс] Изд.: "Лань", ISBN: 5-8114-0614-2, 2005, 3-е, стер. 440 с. Режим доступа: - <http://e.lanbook.com/view/book/603/>
3. Курс теории колебаний / А.А.Яблонский, С.С. Норейко.- СПб: БХВ, 2007.- 336 с.

7.3. Интернет-ресурсы:

- Материалы лекций в формате PDF: - <http://www.gmamin.kpfu.ru/to/lecture.php>
Материалы практики в формате PDF: - <http://www.gmamin.kpfu.ru/to/practice.htm>
Самостоятельная работа курса - <http://www.gmamin.kpfu.ru/to/selfwork.php>
Тесты курса - <http://www.gmamin.kpfu.ru/to/testTO.php>
ЭОР по курсу - <http://tulpar.kfu.ru/course/view.php?id=1579>

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины(модуля)

Освоение дисциплины "Теория колебаний" предполагает использование следующего материально-технического обеспечения:

Мультимедийная аудитория, вместимостью более 60 человек. Мультимедийная аудитория состоит из интегрированных инженерных систем с единой системой управления, оснащенная современными средствами воспроизведения и визуализации любой видео и аудио информации, получения и передачи электронных документов. Типовая комплектация мультимедийной аудитории состоит из: мультимедийного проектора, автоматизированного проекционного экрана, акустической системы, а также интерактивной трибуны преподавателя, включающей тач-скрин монитор с диагональю не менее 22 дюймов, персональный компьютер (с техническими характеристиками не ниже Intel Core i3-2100, DDR3 4096Mb, 500Gb), конференц-микрофон, беспроводной микрофон, блок управления оборудованием, интерфейсы подключения: USB, audio, HDMI. Интерактивная трибуна преподавателя является ключевым элементом управления, объединяющим все устройства в единую систему, и служит полноценным рабочим местом преподавателя. Преподаватель имеет возможность легко управлять всей системой, не отходя от трибуны, что позволяет проводить лекции, практические занятия, презентации, вебинары, конференции и другие виды аудиторной нагрузки обучающихся в удобной и доступной для них форме с применением современных интерактивных средств обучения, в том числе с использованием в процессе обучения всех корпоративных ресурсов. Мультимедийная аудитория также оснащена широкополосным доступом в сеть интернет. Компьютерное оборудование имеет соответствующее лицензионное программное обеспечение.

Компьютерный класс, представляющий собой рабочее место преподавателя и не менее 15 рабочих мест студентов, включающих компьютерный стол, стул, персональный компьютер, лицензионное программное обеспечение. Каждый компьютер имеет широкополосный доступ в сеть Интернет. Все компьютеры подключены к корпоративной компьютерной сети КФУ и находятся в едином домене.

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе "ZNANIUM.COM", доступ к которой предоставлен студентам. ЭБС "ZNANIUM.COM" содержит произведения крупнейших российских учёных, руководителей государственных органов, преподавателей ведущих вузов страны, высококвалифицированных специалистов в различных сферах бизнеса. Фонд библиотеки сформирован с учетом всех изменений образовательных стандартов и включает учебники, учебные пособия, УМК, монографии, авторефераты, диссертации, энциклопедии, словари и справочники, законодательно-нормативные документы, специальные периодические издания и издания, выпускаемые издательствами вузов. В настоящее время ЭБС ZNANIUM.COM соответствует всем требованиям федеральных государственных образовательных стандартов высшего профессионального образования (ФГОС ВПО) нового поколения.

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе Издательства "Лань", доступ к которой предоставлен студентам. ЭБС Издательства "Лань" включает в себя электронные версии книг издательства "Лань" и других ведущих издательств учебной литературы, а также электронные версии периодических изданий по естественным, техническим и гуманитарным наукам. ЭБС Издательства "Лань" обеспечивает доступ к научной, учебной литературе и научным периодическим изданиям по максимальному количеству профильных направлений с соблюдением всех авторских и смежных прав.

1. Цифровой осциллограф, набор колебательных контуров и генераторов для демонстрации колебательных процессов.
2. Программы по численному решению, выводимых на лекциях дифференциальных уравнений, и визуализации полученных данных в виде графиков и движения 3D объектов.
3. Установленные на веб-сайте программы.
4. Учебный класс с компьютерами в количестве больше двух и с возможностью запуска программы-сервера тестов.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВПО и учебным планом по направлению 03.03.03 "Радиоп физика" и профилю подготовки Физика магнитных явлений .

Автор(ы):

Мамин Г.В. _____

"__" _____ 201__ г.

Рецензент(ы):

Егоров А.В. _____

"__" _____ 201__ г.