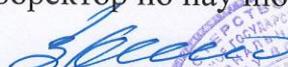


НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МЭИ»

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе

  
\_\_\_\_\_ Драгунов В.К.

« 16 » июня 2015 г.



Программа аспирантуры

Направление 13.06.01 Электро- и теплотехника

Направленность (специальность) 05.09.05 Теоретическая электротехника

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА  
дисциплины по выбору

«Теория нелинейных колебаний»

Индекс дисциплины по учебному плану: Б1.В.ДВ.4.1

Всего: 108 часов

Семестр 7, в том числе

6 часов – контактная работа,  
84 часов – самостоятельная работа,  
18 часов – контроль

Программа составлена на основе федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (уровень подготовки кадров высшей квалификации) по направлению подготовки 13.06.01 «Электро- и теплотехника», утвержденного приказом министерства образования и науки РФ от 30 июля 2014 № 878, и паспорта специальности 05.09.05 «Теоретическая электротехника», номенклатуры специальностей научных работников, утвержденной приказом Минобрнауки России от 25 февраля 2009 г. №59.

## **ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

**Целью** изучения дисциплины является формирование у аспирантов углубленных профессиональных знаний в области теории нелинейных колебаний, исследование основных моделей колебательных процессов и систем и их приложений к конкретным физическим ситуациям в электротехнике, развитие представлений об общих методах исследования подобных процессов и систем.

**Задачами** дисциплины являются:

- освоение на простых моделях и системах основных понятий, связанных с колебательными процессами (резонанс, устойчивость, параметрическое усиление и генерация и т.д.);
- выделение в сложных колебательных процессах в конкретных задачах основных (элементарных) колебательных явлений и сведение исходной проблемы к анализу этих моделей;
- приобретение навыков качественного анализа поведения систем, описываемых дифференциальными уравнениями.

В процессе освоения дисциплины **формируются следующие компетенции:**

- способность проектировать и осуществлять комплексные исследования, в том числе междисциплинарные, на основе целостного системного научного мировоззрения с использованием знаний в области истории и философии науки (УК-2);
- способность проектировать и осуществлять комплексные исследования, в том числе междисциплинарные, на основе целостного системного научного мировоззрения с использованием знаний в области истории и философии науки (УК-4);

- владение методологией теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности (ОПК-1);
- готовность к преподавательской деятельности по основным образовательным программам высшего образования (ОПК-5);
- способность проведения исследований слабых и сильных электромагнитных полей в электротехнических, электроэнергетических, электрофизических, информационных, управляющих и биологических системах. (ПК-2).

### **ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАЗОВАНИЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

В результате освоения дисциплины обучающийся должен продемонстрировать следующие результаты образования:

#### **знать:**

- аналитические и численные методы решения обыкновенных дифференциальных уравнений с малыми параметрами математического моделирования электрофизических и электромагнитных явлений и процессов в конкретных нелинейных периодических режимах (УК-2, ПК-2);

#### **уметь:**

- выполнять комплексные исследования, в том числе междисциплинарные (УК-2);
- использовать современные методы и технологии научной коммуникации на государственном и иностранном языках (УК-4);
- проводить исследования электрофизических и электромагнитных явлений и процессов в устройствах и системах электроэнергетики, электронной, приборостроительной, электротехнической промышленности (ПК-2);

#### **владеть:**

- навыками работы с профессиональным программным обеспечением, реализующим численные методы расчета электрических цепей (ПК-2);
- навыками преподавательской деятельности по основным образовательным программам высшего образования (ОПК-5).

# **КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ ДИСЦИПЛИНЫ**

## **Теория колебаний в нелинейных и параметрических цепях**

Структуры систем нелинейных колебаний. Реализации и параметры отдельных элементов. Характеристики нелинейных элементов. Инерционные, безынерционные элементы. Аппроксимации элементов: кусочно-линейная, полиномиальная, аппроксимация сплайнами. Особенности физических процессов в нелинейных колебательных системах. Понятия о конвергентных и неконвергентных системах. Свободные колебания. Связь и связанность систем с двумя степенями свободы. Вынужденные нелинейные колебания: ультрагармонические и субгармонические колебания. Точки бифуркаций. Условия возникновения автоколебаний: баланс фаз, баланс амплитуд. Понятия явной и неявной обратной связи. Мягкий и жёсткий способы возбуждения автоколебаний. Структурный синтез нелинейных систем гармонических колебаний. Поведение автоколебательных систем при внешнем гармоническом воздействии. Релаксационные колебания. Распределённые автоколебательные системы. Системы с квазираспределёнными параметрами. Принципы параметрического возбуждения колебаний, условия возбуждения колебаний. Параметрическое деление частоты. Соотношения Мэнли–Роу. Уравнение Матье, уравнение Хилла. Виды ограничений параметрических колебаний. Методы расчёта нелинейных колебаний: аналитические, численные. Численные методы решения нелинейных дифференциальных уравнений, укороченных уравнений. Принципы построения параметрического усиления колебаний.

### **Метод усреднения**

Метод медленно меняющихся амплитуд. Уравнения установления амплитуд, установления фаз. Представление уравнений в стандартной форме. Алгоритм реализации метода усреднения, порождающее решение, укороченные уравнения, Метод гармонической линеаризации. Асимптотические методы построения решений. Особенности аналитического решения при полигармоническом внешнем воздействии.

### **Метод фазовой плоскости**

Определение, свойства классической фазовой плоскости. Типы особых точек, предельные циклы. Связь решений на фазовой плоскости с мгновенными значениями нелинейных колебаний. Понятие стробированной фазовой плоскости. Анализ топологических разбиений на фазовой плоскости.

### **Устойчивость нелинейных колебаний**

Понятие устойчивости в малом, устойчивости в большом. Уравнения в вариациях, условия устойчивости. Устойчивость по Ляпунову. Обеспечение устойчивости неустойчивых динамических состояний равновесия. Конверсия динамических состояний равновесия.

## **ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБРАЗОВАНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины: 7 семестр – дифференцированный зачет.

### **Вопросы для самоконтроля и для проведения зачета**

#### **Вопросы для самоконтроля**

1. Построение аналитического решения на основе метода усреднения.
2. Как можно подразделить численные методы интегрирования ОДУ?
3. Отличия явных и неявных методов интегрирования?
4. Какие численные методы решения нелинейных дифференциальных уравнений вы знаете? Дайте их основные характеристики.
5. Дать сравнительную оценку аналитических и численных методов решения.
6. В чем отличие результатов решений на основе метода усреднения и метода гармонической линеаризации?
7. Какие типы особых точек соответствуют устойчивым и неустойчивым состояниям равновесия?
8. Дать характеристику неконвергентным системам.
9. В чём принципиальное отличие вынужденных и параметрических колебаний?
10. Какие способы формирования уравнений установления амплитуд и фаз вы знаете?

#### **Вопросы для проведения зачета**

1. Виды аппроксимаций характеристик нелинейных элементов. Достоинства и недостатки.
2. Алгоритм построения решения асимптотическим методом. Сравнить с методом гармонической линеаризации.
3. Условия устойчивости в малом, устойчивости в большом.
4. Условия возникновения автоколебаний. Баланс фаз, баланс амплитуд.
5. Сторобированная фазовая плоскость. Особые точки.
6. Принципы параметрического возбуждения колебаний. Соотношения Мэнли–Роу.
7. Уравнения в вариациях, условия устойчивости.
8. Устойчивость по Ляпунову.
9. Обеспечение устойчивости неустойчивых динамических состояний равновесия.
10. Конверсия динамических состояний равновесия.

Критерии оценки за освоение дисциплины определены в Инструктивном письме И-23 от 14 мая 2012 г.

## РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

### Основная литература:

1. Алдошин Г.В. Теория линейных и нелинейных колебаний. – М.: Изд-во Лань, 2013. – 320 с.
2. Скубов Д.Ю. Основы теории нелинейных колебаний. – М.: Изд-во Лань, 2013. – 318 с.
3. И.Г. Малкин. Некоторые задачи теории нелинейных колебаний. – М.: Изд-во Едиториал УРСС, 2004. – 496 с.
4. Малкин И.Г. Теория устойчивости движения. – М.: Изд-во Едиториал УРСС, 2010. – 432 с.
5. Израилович М.Я. Активное виброгашение параметрических колебаний. – М.: Изд-во Либроком, 2011. – 170 с.
6. Израилович М.Я., Гришаев А.А. Активное виброгашение вынужденных колебаний с использованием параметрического и силового воздействия. – М.: Изд-во Либроком, 2012. – 80 с.
7. Розанов Ю.К., Рябчицкий М.В., Кваснюк А.Н. Силовая электроника. – М.: Изд-во МЭИ, 2009. – 632 с.
8. Розанов Ю.К., Воронин П.А., Рывкин С.Е., Чаплыгин Е.В. Справочник по силовой электронике. – М.: Изд-во МЭИ, 2014. – 472 с.

### Дополнительная литература:

9. Демирчян К.С., Нейман Л.Р. Теоретические основы электротехники, Том 2. – СПб.: Изд-во Питер, 2009. – 432 с.
10. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. – М.: Изд-во Юрайт, 2014. – 704 с.
11. Атабеков Г.И., Купалян С.Д., Тимофеев А.Б., Хухриков С.В. Теоретические основы электротехники. Нелинейные электрические цепи. – М.: Изд-во Лань, 2009. – 432 с.

### Электронные библиотечные системы:

12. Электронная библиотека МЭИ <http://elib.mpei.ru/>
13. Научная электронная библиотека ООО «РУНЭБ» <http://elibrary.ru>
14. Сборник задач по теоретическим основам электротехники. Под редакцией П.А. Бутырина. Том 1. Электрические и магнитные цепи с

сосредоточенными параметрами. Электронная версия. Авторы электронной версии справочника: В.Ф. Очков, Т.М. Лоскутова, В.С. Фланден, Ф.Н. Шакирзянов, А.Д. Андрюхин, П.С. Васильев, И.А. Гибадуллин, С.А. Пискотин. [http://twf.mpei.ac.ru/ochkov/VPU\\_Book\\_New/mas/TOE/index.htm](http://twf.mpei.ac.ru/ochkov/VPU_Book_New/mas/TOE/index.htm)