

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) 05.09.01 Электромеханика и электрические аппараты

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА  
дисциплины по выбору

«Математическое моделирование электрических машин»

Индекс дисциплины по учебному плану: Б1.В.ДВ.1.2

Всего 108 часов

Семестр 1, 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 05.09.10 Электромеханика и электрические аппараты, номенклатуры специальностей научных работников, утвержденной приказом Минобрнауки России от 25 февраля 2009 г. № 59.

## **ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

**Целью** изучения дисциплины является изучение методов математического моделирования электрических машин.

**Задачами** дисциплины являются:

– изучение свойств электрических машин с позиций системных исследований и предпосылок перехода к многокритериальной модели электрической машины;

– ознакомление с научными основами математического моделирования электрических машин

– изучение математических основ расчёта режимов работы электрических машин.

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

- владение методологией теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности (ОПК-1);

- владение культурой научного исследования в том числе, с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий (ОПК-2);

- владение методами математического и физического моделирования электрических машин и аппаратов (ПК-1).

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

В результате освоения дисциплины обучающийся должен демонстрировать **следующие результаты образования:**

**знать:**

– особенности математического и физического моделирования электрических машин (ПК-1);

– методы многоуровневое макро моделирование электрических машин (ОПК-1);

– структуру и принципы построения математической модели электрической машины (ОПК-2);

**уметь:**

– определять параметры электрических машин на основе математических моделей (ПК-1);

– решать задачи синтеза на основе моделирования электрических машин (ПК-1);

– составлять оптимизационные модели электрических машин (ПК-2);

**владеть:**

– методами оптимизации параметров электрических машин (ОПК-2).

## **КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Основные понятия моделирования технических систем.**

Особенности математического и физического моделирования. Системный подход к моделированию. Блочный-иерархический подход к моделированию. Структура экспертных систем. Характеристика микроуровня. Характеристика макроуровня. Характеристика метауровня. Компонентные и топологические уравнения. Примеры.

### **Многоуровневое макро моделирование электрических машин.**

Методика определения параметров интегрального контура вихревых токов. Методика расчета параметров машины с массивным ротором. Частотный метод определения параметров. Определение параметров роторного контура методом идентификации.

Моделирование асинхронного генератора в динамике. Моделирование электрических машин различных типов. Особенности моделирования асинхронной машины в программном комплексе макро моделирования в фазовой заторможенной системе координат.

Методика расчета вытеснения тока в основном роторном контуре. Методика расчета параметров матрицы динамических индуктивностей. Индуктивностей статических, дифференциальных.

Расчет полной, активной полезной, активной потребляемой мощности через токи и напряжения. Коэффициент отношения активных мощностей для адекватного учета энергообмена.

Анализ влияния несинусоидальности напряжения питания. Особенности решения уравнений динамики численными методами.

### **Формальное моделирование.**

Проявление свойств моделируемого объекта во внешней среде – основа получения формальных моделей, содержащих стохастические переменные. Теория вероятностей и математическая статистика – теоретическая основа моделей со стохастическими переменными. Основные определения и теоремы теории вероятностей. Функции распределения. Закон Пуассона. Случайный поток событий. Закон Вейбулла. Анализ нормального закона распределения.

Примеры использования метода планирования эксперимента в решении задач анализа и синтеза объектов электромеханики с учетом динамики. Примеры использования метода планирования эксперимента в задачах надежности.

Статистическая проверка адекватности математической модели. Особенности оценок при моделировании на ЭВМ. Алгоритмы моделирования случайных процессов. Применение нормального закона распределения. Структурная схема учета случайных процессов в

программном комплексе макро моделирования. Расчет статических характеристик. Построение гистограмм. Модели распознавания образов. Формула Байеса. Пример применения.

Введение в нейромоделирование. Обучение, обобщение, абстрагирование. Модель нейрона. Активационная функция. Персептрон. Исторический аспект. Многослойная нейронная сеть. Алгоритм обучения. Искусственные нейронные сети сегодня. Искусственные Особенности математического и физического моделирования. Системный подход к моделированию. Блочнo-иерархический подход к моделированию. Структура экспертных систем. Характеристика микроуровня. Характеристика макроуровня. Характеристика метауровня. Компонентные и топологические уравнения.

Моделирование асинхронного генератора в динамике. Моделирование электрических машин различных типов. Особенности моделирования асинхронной машины в программном комплексе макро моделирования в фазовой заторможенной системе координат.

Методика расчета вытеснения тока в основном роторном контуре. Методика расчета параметров матрицы динамических индуктивностей. Индуктивностей статических, дифференциальных.

Проявление свойств моделируемого объекта во внешней среде – основа получения формальных моделей, содержащих стохастические переменные. Теория вероятностей и математическая статистика – теоретическая основа моделей со стохастическими переменными. Основные определения и теоремы теории вероятностей. Функции распределения. Закон Пуассона. Случайный поток событий. Закон Вейбулла. Анализ нормального закона распределения

Статистическая проверка адекватности математической модели. Особенности оценок при моделировании на ЭВМ. Алгоритмы моделирования случайных процессов. Применение нормального закона

распределения. Структурная схема учета случайных процессов в программном комплексе макро моделирования. Расчет статических характеристик. Построение гистограмм. Модели распознавания образов. Формула Байеса. Пример применения.

Введение в нейромоделирование. Обучение, обобщение, абстрагирование. Модель нейрона. Активационная функция. Персептрон. Исторический аспект. Многослойная нейронная сеть. Алгоритм обучения. Искусственные нейронные сети сегодня. Искусственные нейронные сети и экспертные системы.

Применение теории "нечетких множеств" в моделировании систем.

### **Решение задач синтеза на основе моделирования.**

Оптимизация. Глобальный, локальный оптимум. Оптимизационный метод попарных сопоставлений. Пример применения. Метод многокритериальной оптимизации, основанный на использовании ЛП□ последовательности. Равномерно распределенная ЛП□ последовательность. Параметрические, функциональные ограничения, коэффициент эффективности отбора моделей. Критериальные ограничения. Определение множества, оптимального по Парето. Схема алгоритма реализации метода. Структурная схема подсистемы оптимизационного проектирования АД с учетом динамики. Примеры решения задач синтеза. Экспертная система – современная тенденция развития САПР.

### **Физическое моделирование объектов электромеханики.**

Теория подобия. Физическое подобие – развитие понятия аффинного подобия. Абсолютное подобие. Теоремы подобия. Использование закономерностей теории подобия в решении задач анализа и синтеза. Относительные единицы.

Физическое моделирование АД с опытными роторами. Экспериментальное определение динамических моментов. Эксперименты

для методики определения параметров интегрального контура вихревых токов. Опытное определение "скачка гистерезиса" в асинхронной машине.

Электромашинный агрегат "ЭМП-ТГ" и его конверсионные модификации. Динамическая устойчивость. Компьютерная диагностика. Применение в системах гарантированного электроснабжения.

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

Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины:

1 семестр – дифференцированный зачет

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

1. В чем отличие математического и физического моделирования.
2. Что такое блочно-иерархический подход к моделированию.
3. Как определить параметры интегрального контура вихревых токов.
4. Частотный метод определения параметров моделируемого объекта.
5. В чем состоит методика расчета параметров матрицы динамических индуктивностей.
6. Как учесть влияние несинусоидальности напряжения питания при моделировании электромеханических систем.
7. Как можно учесть проявление свойств моделируемого объекта во внешней среде.
8. Приведите примеры использования метода планирования эксперимента в решении задач анализа и синтеза объектов электромеханики. Статистическая проверка адекватности математической модели.
9. Как проводится учет случайных процессов в программном комплексе макро моделирования.
10. Что такое нейромоделирование.
11. Поясните понятие многослойная нейронная сеть.
12. Как проводится оптимизация. Что такое глобальный и локальный оптимумы.

13. В чем состоит оптимизационный метод попарных сопоставлений
14. Экспертная система – современная тенденция развития САПР.
15. Использование закономерностей теории подобия в решении задач анализа и синтеза.
16. Математическое и физического моделирования. Системный подход к моделированию.
17. Блочнo-иерархический подход к моделированию. Структура экспертных систем. Характеристика микроуровня. Характеристика макроуровня. Характеристика метауровня.
18. Моделирование асинхронного генератора в динамике.
19. Моделирование электрических машин различных типов.
20. Особенности моделирования асинхронной машины в программном комплексе макро моделирования в фазовой заторможенной системе координат.
21. Методика расчета вытеснения тока в основном роторном контуре.
22. Методика расчета параметров матрицы динамических индуктивностей.
23. Основные определения и теоремы теории вероятностей. Функции распределения. Закон Пуассона. Случайный поток событий. Закон Вейбулла. Анализ нормального закона распределения.
24. Статистическая проверка адекватности математической модели. Особенности оценок при моделировании на ЭВМ.
25. Алгоритмы моделирования случайных процессов. Применение нормального закона распределения.
26. Структурная схема учета случайных процессов в программном комплексе макро моделирования. Расчет статических характеристик. Построение гистограмм.
27. Модели распознавания образов. Формула Байеса. Пример применения.

28. Введение в нейромоделирование. Обучение, обобщение, абстрагирование. Модель нейрона. Активационная функция. Персептрон.

29. Многослойная нейронная сеть. Алгоритм обучения. Искусственные нейронные сети сегодня.

30. Методы оптимизации. Глобальный, локальный оптимум. Оптимизационный метод попарных сопоставлений.

31. Метод многокритериальной оптимизации, основанный на использовании ЛПО последовательности. Равномерно распределенная ЛПО последовательность.

32. Теория подобия. Физическое подобие – развитие понятия аффинного подобия. Абсолютное подобие. Теоремы подобия.

33. Использование закономерностей теории подобия в решении задач анализа и синтеза. Относительные единицы.

34. Физическое моделирование АД с опытными роторами. Экспериментальное определение динамических моментов.

35. Эксперименты для методики определения параметров интегрального контура вихревых токов.

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

## **РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА**

### **Основная литература:**

1. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения. Учеб. пособие для вузов. М.: КноРус, 2011, 448с.

2. Амбарцумова Т.Т. Исследование динамических режимов асинхронных машин в программном комплексе макро моделирования. Лабораторные работы № 1-3. М.: Изд. ДОМ МЭИ, 2007г. 40с.

### **Дополнительная литература:**

3. Теория вероятностей и ее инженерные приложения : учебное пособие для вузов / Вентцель Е. С., Овчаров Л. А. . – 4-е изд., стер . – М. : КноРус, 2010 . – 480 с

4. Макромоделирование асинхронных машин с учетом динамики : Учебное пособие по курсу "Физическое и математическое моделирование, специальная электродинамика" по направлению "Электротехника, электромеханика и электротехнологии" / Т. Т. Амбарцумова, Моск. энерг. ин-т (МЭИ ТУ) . – М. : Изд-во МЭИ, 2002 . – 40 с.