

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

«Сверхпроводящие материалы в электротехнике»

Индекс дисциплины по учебному плану: Б1.В.ДВ.4.3

Всего 108 часов

Семестр 7, в том числе

6 часов – контактная работа,
84 часа – 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 05.09.01 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 возможности применения сверхпроводящих материалов в электрических машинах .

Задачами дисциплины являются:

- изучение природы сверхпроводимости и методов исследования сверхпроводящих материалов;
- ознакомление со сверхпроводящими устройствами постоянного и переменного токов и методов их расчета

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

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

- основные физические закономерности, качественные и количественные характеристики и области применения сверхпроводящих материалов (ПК-1);
- свойства современных сверхпроводящих материалов, применяемых в конструкциях электротехнических изделий (ОПК-1);

уметь:

– применять теорию сверхпроводимости в профессиональной деятельности при проектировании электрических машин (ПК-1);

– применять теорию методы расчёта узлов и деталей из сверхпроводящих материалаов в профессиональной деятельности (ПК-1);

владеть:

– методологией теоретических и экспериментальных исследований в области инновационных технологий применения сверхпроводящих систем (ОПК-1);

- методами математического моделирования инновационных сверхпроводящих процессов и установок (ПК-1).

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ ДИСЦИПЛИНЫ

1.2.Содержание дисциплины

Современные представления о природе сверхпроводимости и методы исследования сверхпроводящих материалов.

Общие положения. Электронно-фононный механизм сверхпроводимости. Куперовские пары. Термодинамика сверхпроводников. Основные соотношения для термодинамических систем в магнитном поле. Расчет энтропии и теплоемкости сверхпроводников. Теория Лондонов. Расчет глубины проникновения магнитного поля. Эффект Мейснера. Кванты магнитного потока. Идеальные сверхпроводники I рода. Поверхностная энергия. Кривые намагничивания. Критические ток, поле и температура и методы их расчета. Промежуточное состояние. Идеальные и неидеальные сверхпроводники II рода. Второе критическое поле. Смешанное состояние. Вихревые нити и удерживающие центры, их физический смысл. Распределение магнитного поля и тока в сверхпроводниках II рода, методы расчета. Ползучесть и скачки магнитного потока. Резистивные состояния и методы их исследования. Перспективные высокотемпературные сверхпроводящие материалы.

Тепловая стабилизация сверхпроводников на постоянном токе. Циркуляционные сверхпроводящие системы. Методы расчета переходных процессов.

Причины возникновения резистивной фазы в сверхпроводниках. Комбинированные сверхпроводники. Уравнения теплового баланса. Распределение тока между сверхпроводниками и подложкой в изотермических условиях. Модель Стекли. Расчет вольт - амперных характеристик. Параметр стабилизации. Максимальный ток существования нормальной фазы и его физический смысл. Частично и полностью стабилизированные сверхпроводники. Изотермы и вольт - амперные характеристики. Устойчивые и

неустойчивые состояния равновесия комбинированных сверхпроводников. Метод низкоомного шунта. Модели комбинированных сверхпроводников с продольным градиентом температуры на постоянном токе. Расчет динамических вольт - амперных характеристик. Модель со ступенчатым изменением электросопротивления сверхпроводника. Скорость распространения резистивной зоны и методы ее определения. Минимальный ток распространения нормальной зоны. Модель с внутренними источниками тепловыделения. Влияние условий охлаждения на параметры процесса. Теорема “равных площадей” и ее применение для исследования состояний равновесия и распространения резистивной зоны в сверхпроводниках. Критерий устойчивости. Экспериментальные методики исследования установившихся процессов в сверхпроводниках.

Стационарные режимы работы и методы их расчета. Переходные режимы в сверхпроводящих обмотках на переменном токе.

Распределение магнитного поля и критического тока в сверхпроводниках. Механизмы диссипации энергии. Расчет гистерезисных потерь. Расчет матричных потерь. Методы снижения потерь. Многожильные композиты с субмикронными жилами и технология их получения. Критический размер сверхпроводящей жилы. Параллельные сверхпроводящие цепи, методы их расчета. Скрученные и транспонированные сверхпроводники. Туннельные эффекты в сверхпроводящих композитах и влияние их на уровень потерь. Расчет пороговой амплитуды колебаний магнитного поля. Обмотки в осциллирующих и вращающихся магнитных полях. Определение критической скорости изменения магнитного поля. Методы расчета и экспериментального исследования тока в сверхпроводящих жилах. Типы композиционных сверхпроводников для электротехнических устройств переменного тока.

Модель сверхпроводника на переменном токе. Расчет параметров процесса при переменных токах большой и малой частоты. Квазистационарные режимы. Роль тепловой инерции. Установившиеся режимы при токах промышленной частоты. Верхний и нижний температурные циклы. Влияние магнитного поля на параметры процесса. Закон Колера. Расчет вольт - амперных характеристик при изменении тока и поля. Сравнение режимов работы на постоянном и переменном токах. Влияние скачка теплоемкости сверхпроводника на параметры процесса. Расчет вольт - амперных характеристик с учетом скин-эффекта.

Режимы охлаждения сверхпроводящих обмоток при переменных тепловых нагрузках. Методы защиты сверхпроводящих устройств.

Способы получения низких температур. Свойства применяемых хладагентов. Криогенные установки и системы. Расчет теплоотдачи в обмотках при пузырьковом и пленочном режимах кипения. Расчет максимального и минимального критического теплового потока. Нестационарный теплообмен. Частотные зависимости коэффициента теплоотдачи. Охлаждения обмоток

сверхтекучим гелием. Особенности охлаждения высокотемпературных сверхпроводящих обмоток.

Основные характеристики ВТСП – проводников. Тепловая стабилизация ВТСП– устройств. Внутренняя стабилизация, критерии адиабатической и динамической устойчивости. МПЗ – стабильность. Распространение нормальной зоны. Потери в ВТСП–композитах в переменных магнитных полях. Сравнение стабильности ВТСП – устройств при использовании различных хладагентов.

Причины перехода в резистивное состояние. Трансформаторный метод. Разряд на внешнюю активную нагрузку. Разряд на конденсаторную батарею. Секционирование обмоток. Сравнение параметров переходных процессов в зависимости от схемы защиты.

Классификация сверхпроводящих устройств постоянного и переменного токов и методы их расчета.

Расчет магнитных полей, создаваемых сверхпроводящими обмотками различной конфигурации. Расчет электромагнитных сил в сверхпроводящих обмотках. Расчет механических напряжений и деформации в сверхпроводящих устройствах. Типы сверхпроводящих устройств постоянного и переменного тока. Особенности конструкции, характеристик и рабочих режимов сверхпроводящих синхронных генераторов, двигателей, трансформаторов, преобразователей тока, токоограничителей, накопителей энергии и др. Сверхпроводящие устройства, работающие на токах, изменяющихся по периодическому закону. Гистерезисные двигатели.

ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБРАЗОВАНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины:

7 семестр – дифференцированный зачет

Вопросы для самоконтроля и проведения зачета

- 1.Поясните электронно-фононный механизм сверхпроводимости.
- 2.В чем заключается теория Лондонов.
- 3.Поясните сущность эффекта Мейснера.
- 4.Критические ток, поле и температура сверхпроводника и методы их расчета.
- 5.Вихревые нити и удерживающие центры, их физический смысл.
- 6.Причины возникновения резистивной фазы в сверхпроводниках.
- 7.Объясните принцип модели Стекли.
- 8.Уравнения теплового баланса сверхпроводника.

9. Модель сверхпроводника на переменном токе.
10. Расчет вольт - амперных характеристик при изменении тока и поля.
11. Криогенные установки и системы.
12. Особенности охлаждения высокотемпературных сверхпроводящих обмоток.
13. Причины перехода сверхпроводника в резистивное состояние.
14. Проведите сравнение параметров переходных процессов в сверхпроводнике в зависимости от схемы защиты.
15. Типы сверхпроводящих устройств постоянного и переменного тока.
16. Конструкции, характеристики рабочих режимов сверхпроводящих синхронных генераторов, двигателей.
17. Электронно-фононный механизм сверхпроводимости. Термодинамика сверхпроводников.
18. Основные соотношения для термодинамических систем в магнитном поле.
19. Расчет энтропии и теплоемкости сверхпроводников.
20. Поверхностная энергия сверхпроводника. Кривые намагничивания.
21. Резистивные состояния сверхпроводника и методы их исследования.
22. Перспективные высокотемпературные сверхпроводящие материалы.
23. Причины возникновения резистивной фазы в сверхпроводниках.
24. Расчет вольт - амперных характеристик сверхпроводника.
25. Максимальный ток существования нормальной фазы сверхпроводника и его физический смысл.
26. Экспериментальные методики исследования установившихся процессов в сверхпроводниках.
27. Типы композиционных сверхпроводников для электротехнических устройств переменного тока.
28. Модель сверхпроводника на переменном токе.

29. Расчет параметров процессов в сверхпроводниках при переменных токах большой и малой частоты. Квазистационарные режимы.

30. Сравнение режимов работы сверхпроводника на постоянном и переменном токах. Влияние скачка теплоемкости сверхпроводника на параметры процесса.

31. Способы получения низких температур. Свойства применяемых хладагентов.

32. Криогенные установки и системы.

33. Расчет теплоотдачи в сверхпроводящих обмотках электрических машин.

34. Охлаждения обмоток электрических машин сверхтекучим гелием. Особенности охлаждения высокотемпературных сверхпроводящих обмоток.

35. Причины перехода сверхпроводника в резистивное состояние. Методы защиты.

36. Сравнение параметров переходных процессов в сверхпроводниках зависимости от схемы защиты.

37. Расчет магнитных полей, создаваемых сверхпроводящими обмотками различной конфигурации.

38. Расчет механических напряжений и деформации в сверхпроводящих устройствах.

39. Типы сверхпроводящих устройств постоянного и переменного тока.

40. Конструкции, электромеханических устройств со сверхпроводящими обмотками .

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Основная литература:

1. Стабилизация сверхпроводящих магнитных систем / В. А. Альтов, В. Б. Зенкевич, М. Г. Кремлев, В. В. Сычев . – 3-е изд., перераб. и доп . – М. : Изд. дом МЭИ, 2008 . – 464 с.

2. Сложные термодинамические системы / В. В. Сычев . – 5-е изд., доп . – М. : Изд. дом МЭИ, 2009 . – 296 с.

Дополнительная литература:

3. Антонов Ю.Ф., Данилевич Я.Б. Сверхпроводниковые топологические электрические машины. М: Физматлит, 2009, 368 с.