

**Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»**

Направление подготовки/специальность: 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

Наименование образовательной программы: Электрические аппараты управления и распределения энергии

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная

**Оценочные материалы
по дисциплине
Сверхпроводящие материалы и устройства на их основе**

**Москва
2023**

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Преподаватель

(должность)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Курбатова Е.П.
	Идентификатор	R51c6ebe0-KurbatovaYP-a15ccd67

(подпись)

Е.П.
Курбатова

(расшифровка
подписи)

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель
образовательной
программы

(должность, ученая степень,
ученое звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Ширинский С.В.
	Идентификатор	Rac9f4bfa-ShirinskiiSV-a85b725f

(подпись)

С.В.
Ширинский

(расшифровка
подписи)

Заведующий
выпускающей кафедры

(должность, ученая степень,
ученое звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Киселев М.Г.
	Идентификатор	R572ca413-KiselevMG-f37ee096

(подпись)

М.Г. Киселев

(расшифровка
подписи)

ОБЩАЯ ЧАСТЬ

Оценочные материалы по дисциплине предназначены для оценки: достижения обучающимися запланированных результатов обучения по дисциплине, этапа формирования запланированных компетенций и уровня освоения дисциплины.

Оценочные материалы по дисциплине включают оценочные средства для проведения мероприятий текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации.

Формируемые у обучающегося компетенции:

1. ПК-3 Способен участвовать в научно-исследовательской работе в области профессиональной деятельности

ИД-1 Демонстрирует знание современных средств в области электротехнических объектов и методы их исследования и разработки

и включает:

для текущего контроля успеваемости:

Форма реализации: Письменная работа

1. Моделирование СПИН (Контрольная работа)
2. Основы сверхпроводимости (Тестирование)
3. Сверхпроводимость в электротехнике и энергетике (Реферат)
4. Силовые характеристики ВТСП образца (Контрольная работа)

БРС дисциплины

3 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %				
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
	Срок КМ:	4	8	12	16
Физические основы сверхпроводимости					
Физические основы сверхпроводимости	+				
Моделирование свойств высокотемпературных сверхпроводников					
Моделирование свойств высокотемпературных сверхпроводников			+		
Расчет магнитных систем с элементами из ВТСП материалов					
Расчет магнитных систем с элементами из ВТСП материалов				+	
Применение ВТСП в электротехнических устройствах					
Применение ВТСП в электротехнических устройствах					+
	Вес КМ:	10	25	25	40

\$Общая часть/Для промежуточной аттестации\$

СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ

I. Оценочные средства для оценки запланированных результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с индикаторами достижения компетенций

Индекс компетенции	Индикатор	Запланированные результаты обучения по дисциплине	Контрольная точка
ПК-3	ИД-1ПК-3 Демонстрирует знание современных средств в области электротехнических объектов и методы их исследования и разработки	<p>Знать:</p> <p>свойства и основные физические явления, возникающие в сверхпроводящих материалах</p> <p>принципы действия и конструкции магнитных систем</p> <p>электротехнических устройств со сверхпроводящими элементами в электроэнергетике, электрических машинах, электрических аппаратах, на транспорте в медицине и физических установках</p> <p>Уметь:</p> <p>применять методы и программные средства для моделирования элементов из сверхпроводящих материалов</p> <p>применять методы</p>	<p>Основы сверхпроводимости (Тестирование)</p> <p>Силовые характеристики ВТСП образца (Контрольная работа)</p> <p>Моделирование СПИН (Контрольная работа)</p> <p>Сверхпроводимость в электротехнике и энергетике (Реферат)</p>

		математического моделирования для проектирования электротехнических устройств со сверхпроводящими элементами	
--	--	--	--

II. Содержание оценочных средств. Шкала и критерии оценивания

КМ-1. Основы сверхпроводимости

Формы реализации: Письменная работа

Тип контрольного мероприятия: Тестирование

Вес контрольного мероприятия в БРС: 10

Процедура проведения контрольного мероприятия: Тест состоит из 10 вопросов "один из многих". На тест отводится 20 минут.

Краткое содержание задания:

Студенту выдается тест, состоящей из 10 вопросов по теме “ Физические основы сверхпроводимости”

Контрольные вопросы/задания:

Знать: свойства и основные физические явления, возникающие в сверхпроводя щих материалах	<p>1. В чем отличие идеальной сверхпроводимости от идеального диамагнетизма?</p> <ol style="list-style-type: none">1) Идеальная сверхпроводимость материала имеет место при бесконечной удельной электрической проводимости. Идеальный диамагнетизм материала имеет место при относительной магнитной проницаемости равной нулю.2) Идеальный сверхпроводник — это металл, а идеальный диамагнетик — диэлектрик.3) Идеальный сверхпроводник и идеальный диамагнетик имеют одинаковые магнитные свойства4) Идеальная сверхпроводимость в отличие от идеального диамагнетизма не изменяет магнитное поле <p>2. Фазовая диаграмма перехода сверхпроводника в нормальное состояние - это</p> <ol style="list-style-type: none">1) Зависимость критического тока от напряженности внешнего магнитного поля.2) Зависимость критической напряженности магнитного поля от критического тока.3) Зависимость критической напряженности магнитного поля от температуры.4) Зависимость критического тока от температуры. <p>3. Почему у кольцевого образца из идеального диамагнетика внешнее магнитное поле проникает через центральное отверстие, а у кольцевого образца из идеального сверхпроводника магнитный поток в этом отверстии остается равным нулю?</p> <ol style="list-style-type: none">1) В идеальном диамагнетике источником магнитного поля является намагниченность, которая представляет собой дипольный источник поля, который не может создавать в многосвязных областях структуры поля, аналогичные индуцированным или транспортным токам, поддерживающим неизменный магнитный поток в охватываемом током контуре.2) Идеальные диамагнетики не могут изменить магнитное поле вне образца, а идеальные сверхпроводники изменяют.3) Идеальный диамагнетик не создает магнитное поле вне кольцевого образца.
---	--

- 4) Идеальный сверхпроводник создает вне образца собственное магнитное поле, которое полностью компенсирует внешнее магнитное поле
4. Что такое эффект Мейснера в сверхпроводниках?
- 1) Это захват и удержание магнитного поля сверхпроводником
 - 2) Это вытеснение магнитного поля из объема сверхпроводника
 - 3) Это переход материала в сверхпроводящее состояние при низких температурах
 - 4) Это эффект потери сверхпроводимости материалом при повышении температуры
5. Проявляется ли эффект Мейснера в ВТСП?
- 1) Эффект Мейснера приводит к полному вытеснению магнитного поля из объема сверхпроводника как в ZFC, так и в FC режимах перехода в сверхпроводящее состояние образцов из ВТСП
 - 2) Эффект Мейснера не проявляется в ВТСП образцах как в ZFC, так и в FC режимах перехода в сверхпроводящее состояние.
 - 3) Эффект Мейснера проявляется в ВТСП образцах только в FC режимах перехода в сверхпроводящее состояние.
 - 4) В ВТСП образцах эффект Мейснера проявляется полностью только в докритических состояниях в ZFC режимах, и только частично в FC режимах
6. Когда было впервые открыто явление сверхпроводимости?
- 1) В конце 19 века
 - 2) В середине 20 столетия
 - 3) В начале 20 века
 - 4) В 90 годах 20 века
7. Что такое смешанное состояние сверхпроводника второго рода?
- 1) При повышении напряженности магнитного поля сверхпроводник II рода начинает пропускать через себя магнитный поток, который увеличивается по мере возрастания внешнего поля *Н_{вн}*, одновременно сохраняя сверхпроводимость
 - 2) Неполный переход в сверхпроводящее состояние материала по действием внешнего магнитного поля
 - 3) Часть образца материала имеет сверхпроводящие свойства, а часть - диамагнитные
8. Что такое критический ток в сверхпроводнике?
- 1) Критическим током в сверхпроводниках называют максимальное значение постоянного электрического тока, который может протекать через сверхпроводник без рассеяния энергии.
 - 2) Критическим током в сверхпроводниках называют минимальное значение постоянного электрического тока, который может протекать через сверхпроводник.
 - 3) Критическим током в сверхпроводниках называют максимальное значение постоянного электрического тока, который может протекать через сверхпроводник при абсолютном нуле температуры.
 - 4) Критическим током в сверхпроводниках называют максимальное значение постоянного электрического тока, который может протекать через сверхпроводник при критической напряженности магнитного поля.
9. Критическая напряженность магнитного поля зависит от температуры в соответствии со следующим выражением:
- 1)

	$H_c(T) = H_c(0) \left[1 - \left(\frac{T}{T_c} \right)^2 \right]$ $H_c(T) = H_c(0) \left[1 - \left(\frac{T}{T_c} \right)^3 \right]$ $H_c(T) = H_c(0) \left[1 - \left(\frac{T}{T_c} \right)^4 \right]$ $H_c(T) = H_c(0) \left[1 - \left(\frac{T}{T_c} \right)^{\frac{1}{10}} \right]$ <p>10. Какая толщина сверхпроводящего слоя в ВТСП лентах 2-го поколения?</p> <p>1) 100 – 150 мкм 2) 50 – 100 мкм 3) 10 – 20 мкм 4) 1 – 2 мкм</p>
--	--

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

Оценка: 4

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач

Оценка: 3

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

КМ-2. Силовые характеристики ВТСП образца

Формы реализации: Письменная работа

Тип контрольного мероприятия: Контрольная работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 25

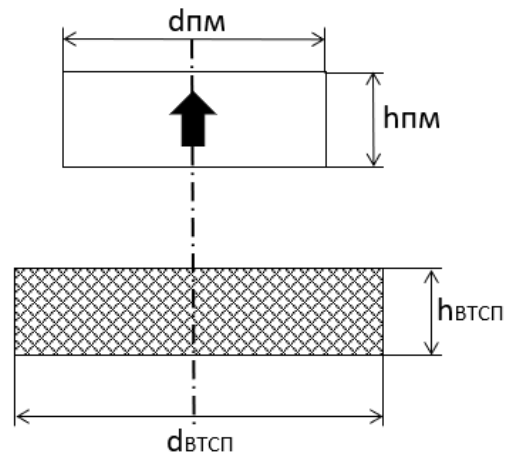
Процедура проведения контрольного мероприятия: Контрольная работа на компьютерах с использованием EasyMag3D

Краткое содержание задания:

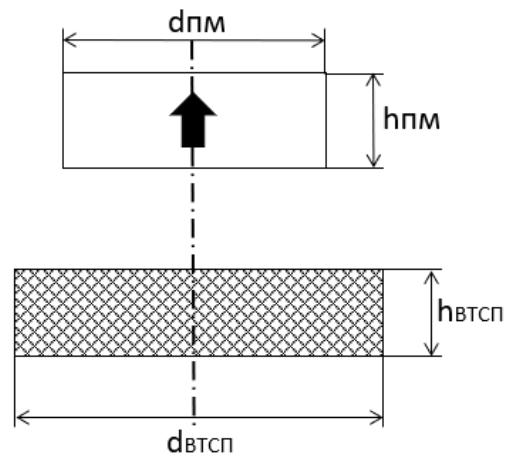
1. Построить модель магнитной системы в программе EasyMag3D
2. Рассчитать силовые характеристики ВТСП образца при взаимодействии с постоянным магнитом

Контрольные вопросы/задания:

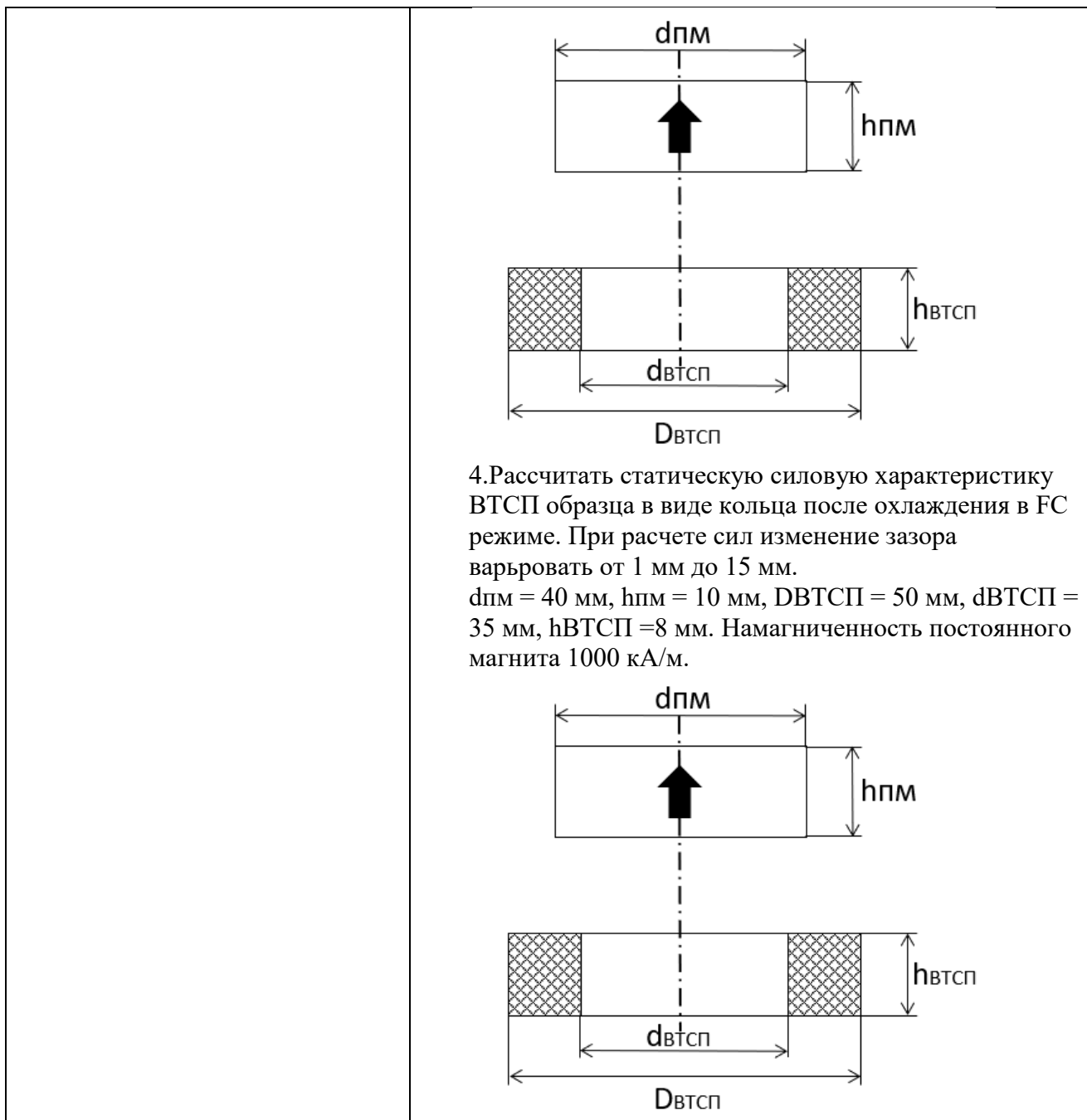
<p>Уметь: применять методы и программные средства для моделирования элементов из сверхпроводящих материалов</p>	<p>1. Рассчитать статическую силовую характеристику ВТСП образца в виде диска после охлаждения в ZFC режиме. При расчете сил изменение зазора варьировать от 1 мм до 15 мм. $d_{\text{пм}} = 50 \text{ мм}$, $h_{\text{пм}} = 10 \text{ мм}$, $d_{\text{ВТСП}} = 60 \text{ мм}$, $h_{\text{ВТСП}} = 7 \text{ мм}$. Намагниченность постоянного магнита 1000 кА/м.</p>
---	--



2. Рассчитать статическую силовую характеристику ВТСП образца в виде диска после охлаждения в FC режиме. При расчете сил изменение зазора варьировать от 1 мм до 15 мм.
 $d_{пм} = 60$ мм, $h_{пм} = 10$ мм, $d_{ВТСП} = 45$ мм, $h_{ВТСП} = 10$ мм. Намагниченность постоянного магнита 1000 кА/м.



3. Рассчитать статическую силовую характеристику ВТСП образца в виде кольца после охлаждения в ZFC режиме. При расчете сил изменение зазора варьировать от 1 мм до 15 мм.
 $d_{пм} = 50$ мм, $h_{пм} = 10$ мм, $D_{ВТСП} = 60$ мм, $d_{ВТСП} = 40$ мм, $h_{ВТСП} = 10$ мм. Намагниченность постоянного магнита 1000 кА/м.



Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

Оценка: 4

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач

Оценка: 3

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

КМ-3. Моделирование СПИН

Формы реализации: Письменная работа

Тип контрольного мероприятия: Контрольная работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 25

Процедура проведения контрольного мероприятия: Контрольная работа на компьютерах с использованием EasyMag3D и Matlab

Краткое содержание задания:

1. Рассчитать и построить ВАХ СПИН в виде сверхпроводниковой катушки.
2. Построить модель СПИН в Matlab.
3. Рассчитать процесс заряда и разряда СПИН. Построить осциллограммы тока, напряжения и энергии СПИН.

Контрольные вопросы/задания:

Уметь: применять методы математического моделирования для проектирования электротехнических устройств со сверхпроводящими элементами

1. Конструкция СПИН представляет собой катушку из ВТСП ленты, намотанную на немагнитном основании. Проанализировать процесс заряда и разряда СПИН со следующими параметрами:

$D = 100$ мм, $d = 80$ мм, $h = 12$ мм, $N = 50$ витков, $I_c = 500$ А, $n = 33$

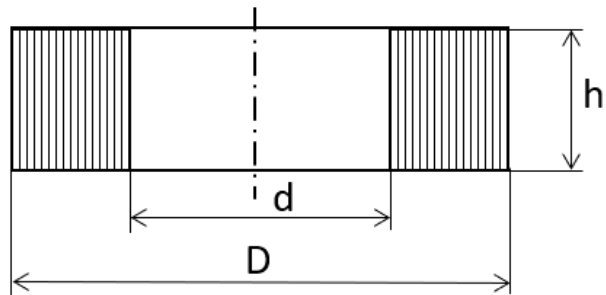


Figure 1 модель СПИН

2. Конструкция СПИН представляет собой катушку из ВТСП ленты, намотанную на немагнитном основании. Проанализировать процесс заряда и разряда СПИН со следующими параметрами:

$D = 500$ мм, $d = 400$ мм, $h = 12$ мм, $N = 400$ витков, $I_c = 500$ А, $n = 33$

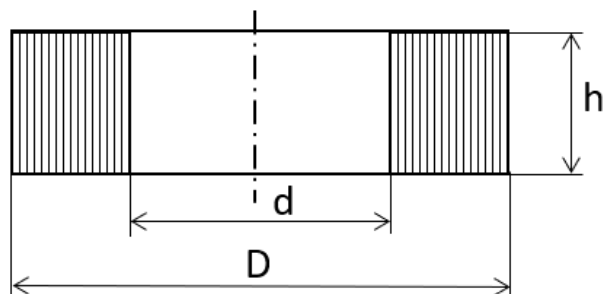


Figure 2 модель СПИН

3. Конструкция СПИН представляет собой катушку из ВТСП ленты, намотанную на немагнитном основании. Проанализировать процесс заряда и разряда СПИН со следующими параметрами:

$D = 300$ мм, $d = 200$ мм, $h = 10$ мм, $N = 400$ витков, $I_c = 300$ А, $n = 33$

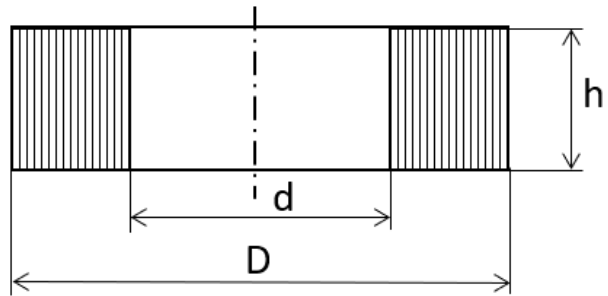


Figure 3 модель СПИН

4. Конструкция СПИН представляет собой катушку из ВТСП ленты, намотанную на немагнитном основании. Проанализировать процесс заряда и разряда СПИН со следующими параметрами:

$D = 800$ мм, $d = 600$ мм, $h = 24$ мм, $N = 800$ витков, $I_c = 300$ А, $n = 33$

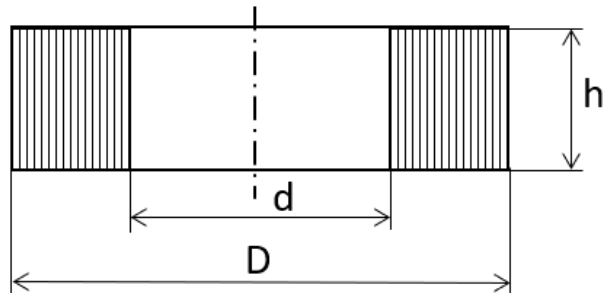


Figure 4 модель СПИН

5. Конструкция СПИН представляет собой катушку из ВТСП ленты, намотанную на немагнитном основании. Проанализировать процесс заряда и разряда СПИН со следующими параметрами:

$D = 800$ мм, $d = 700$ мм, $h = 24$ мм, $N = 400$ витков, $I_c = 150$ А, $n = 33$

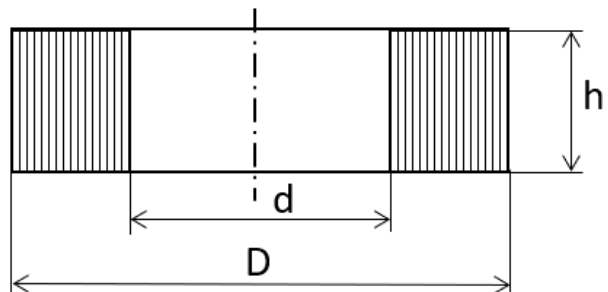


Figure 5 модель СПИН

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

Оценка: 4

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач

Оценка: 3

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

КМ-4. Сверхпроводимость в электротехнике и энергетике

Формы реализации: Письменная работа

Тип контрольного мероприятия: Реферат

Вес контрольного мероприятия в БРС: 40

Процедура проведения контрольного мероприятия: Студент готовит реферат по выбранной теме. Защита рефера проводится в виде выступления с презентацией. На выступление дается 7-10 минут.

Краткое содержание задания:

Выполнить обзор научных источников в виде реферата, подготовить презентацию и доклад по выбранной теме.

Контрольные вопросы/задания:

Знать: принципы действия и конструкции магнитных систем электротехнических устройств со сверхпроводящими элементами в электроэнергетике, электрических машинах, электрических аппаратах, на транспорте в медицине и физических установках	<ol style="list-style-type: none">1.Характеристики, свойства и применение дигборида магния MgB₂.2.Магнитная левитация на основе сверхпроводников. Современные разработки для транспорта.3.ВТСП кабели - технология создания и применение.4.МРТ с использованием сверхпроводящих материалов. Анализ современного состояния.5.Анализ АС потерь в высокотемпературных сверхпроводниках.6.Методы снижения потерь в ВТСП проводниках.7.Системы охлаждения для высокотемпературных сверхпроводников.8.Сверхчувствительные измерители поля на основе сверхпроводимости СКВИДы.9.Сверхпроводниковая электроника. Принцип работы и перспективы применения.10.Современные разработки в области сверхпроводниковых линий электропередачи.11.Методы бесконтактного возбуждения для ВТСП обмоток в электрических машинах.12.Сверхпроводниковые трансформаторы. Анализ современного состояния.13.Электрические машины с ВТСП обмоткой возбуждения. Анализ современного состояния.14.Электрические машины с объемными ВТСП материалами. Анализ современного состояния.
---	---

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

Оценка: 4

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач

Оценка: 3

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

3 семестр

Форма промежуточной аттестации: Зачет с оценкой

Процедура проведения

Оценка определяется по совокупности результатов текущего контроля успеваемости в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ»

1. Перечень компетенций/индикаторов и контрольных вопросов проверки результатов освоения дисциплины

1. Компетенция/Индикатор: ИД-1пк-3 Демонстрирует знание современных средств в области электротехнических объектов и методы их исследования и разработки

Вопросы, задания

1. Что такое сверхпроводимость? Критические параметры сверхпроводников.
2. Низкотемпературные и высокотемпературные сверхпроводники. Кто и в каких годах открыл эти явления?
3. Сверхпроводники первого рода. Изобразите и поясните фазовую диаграмму перехода в нормальное состояние.
4. Сверхпроводники второго рода. Изобразите и поясните фазовую диаграмму перехода в нормальное состояние.
5. Какие явления характеризуют эффект Мейснера в сверхпроводниках?
6. Поясните эффект возникновения вихрей Абрикосова в сверхпроводниках.
7. Объемные ВТСП. Особенности технологии изготовления. Основные параметры.
8. Ленточные ВТСП первого и второго поколения. Особенности конструкции и основные параметры.
9. Моделирование свойств ВТСП при расчетах электромагнитных полей. Модель для плотности тока.
10. Комбинированная модель свойств ВТСП для плотности тока и намагниченности.
11. Упрощенное представление свойств ВТСП с помощью модели для намагниченности.
12. Методы экспериментальных исследований электромагнитных полей и силовых характеристик объемных и ленточных ВТСП материалов.
13. Применение ВТСП в асинхронных машинах.
14. Применение ВТСП в синхронных машинах.
15. Применение ВТСП индукторных машинах.
16. ВТСП токоограничители резистивного типа.
17. ВТСП токоограничители индуктивного типа.
18. Применение ВТСП в силовых трансформаторах.
19. Применение ВТСП для создания электромагнитов в МРТ.
20. Использование ВТСП для создания физических установок (термоядерные установки, ускорители частиц).

Материалы для проверки остаточных знаний

1. В чем отличие идеальной сверхпроводимости от идеального диамагнетизма?

Ответы:

- 1) Идеальная сверхпроводимость материала имеет место при бесконечной удельной электрической проводимости. Идеальный диамагнетизм материала имеет место при относительной магнитной проницаемости равной нулю.
- 2) Идеальный сверхпроводник — это металл, а идеальный диамагнетик — диэлектрик.

3) Идеальный сверхпроводник и идеальный диамагнетик имеют одинаковые магнитные свойства

4) Идеальная сверхпроводимость в отличие от идеального диамагнетизма не изменяет магнитное поле

Верный ответ: 1)

2. Что такое эффект Мейснера в сверхпроводниках?

Ответы:

1) Это захват и удержание магнитного поля сверхпроводником

2) Это вытеснение магнитного поля из объема сверхпроводника

3) Это переход материала в сверхпроводящее состояние при низких температурах

4) Это эффект потери сверхпроводимости материалом при повышении температуры

Верный ответ: 2)

3. Когда было впервые открыто явление сверхпроводимости?

Ответы:

1) В конце 19 века

2) В середине 20 столетия

3) В начале 20 века

4) В 90 годах 20 века

Верный ответ: 3)

4. Что такое смешанное состояние сверхпроводника второго рода?

Ответы:

1) При повышении напряженности магнитного поля сверхпроводник II рода начинает пропускать через себя магнитный поток, который увеличивается по мере возрастания внешнего поля $H_{вн}$, одновременно сохраняя сверхпроводимость

2) Неполный переход в сверхпроводящее состояние материала по действием внешнего магнитного поля

3) Часть образца материала имеет сверхпроводящие свойства, а часть – диамагнитные

Верный ответ: 1)

5. Что такое критический ток в сверхпроводнике?

Ответы:

1) Критическим током в сверхпроводниках называют максимальное значение постоянного электрического тока, который может протекать через сверхпроводник без рассеяния энергии.

2) Критическим током в сверхпроводниках называют минимальное значение постоянного электрического тока, который может протекать через сверхпроводник.

3) Критическим током в сверхпроводниках называют максимальное значение постоянного электрического тока, который может протекать через сверхпроводник при абсолютном нуле температуры.

4) Критическим током в сверхпроводниках называют максимальное значение постоянного электрического тока, который может протекать через сверхпроводник при критической напряженности магнитного поля.

Верный ответ: 1)

II. Описание шкалы оценивания

Оценка: 5

Описание характеристики выполнения знания: Работа выполнена в рамках "продвинутого" уровня. Ответы даны верно, четко сформулированные особенности практических решений

Оценка: 4

Описание характеристики выполнения знания: Работа выполнена в рамках "базового" уровня. Большинство ответов даны верно. В части материала есть незначительные недостатки

Оценка: 3

Описание характеристики выполнения знания: Работа выполнена в рамках "порогового" уровня. Основная часть задания выполнена верно.

III. Правила выставления итоговой оценки по курсу

Оценка определяется по совокупности результатов текущего контроля успеваемости в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ»