

**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: Электромеханическое преобразование энергии и методы его исследования

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная

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

**Москва
2023**

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Разработчик

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

Е.П.
Курбатова

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель
образовательной
программы

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

С.В.
Ширинский

Заведующий
выпускающей
кафедрой

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

М.Г. Киселев

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-1 Способен ставить задачи и планировать исследования и разработки, выбирать методы экспериментальной и проектной деятельности, интерпретировать и представлять результаты научных исследований и разработок

ИД-2 Критически анализирует свойства современных средств в области электромеханических преобразователей энергии и возможности методов 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-1	ИД-2ПК-1 Критически анализирует свойства современных средств в области электромеханических преобразователей энергии и возможности методов их исследования и разработки	Знать: свойства и основные физические явления, возникающие в сверхпроводящих материалах принципы действия и конструкции магнитных систем электротехнических устройств со сверхпроводящими элементами в электроэнергетике, электрических машинах, электрических аппаратах, на транспорте в медицине и физических установках Уметь: применять методы математического моделирования для проектирования электротехнических устройств со	Основы сверхпроводимости (Тестирование) Силовые характеристики ВТСП образца (Контрольная работа) Моделирование СПИН (Контрольная работа) Сверхпроводимость в электротехнике и энергетике (Реферат)

		сверхпроводящими элементами применять методы и программные средства для моделирования элементов из сверхпроводящих материалов	
--	--	---	--

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	1. В чем отличие идеальной сверхпроводимости от идеального диамагнетизма? 1) Идеальная сверхпроводимость материала имеет место при бесконечной удельной электрической проводимости. Идеальные 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 отличии от идеального диамагнетизма не изменяет магнитное поле 2. Фазовая диаграмма перехода сверхпроводника в нормальное состояние - это 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. 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? 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 <i>H_{вн}</i>, 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)
--	--

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

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

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

Оценка: 4

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

Оценка: 3

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

Оценка: 2

Описание характеристики выполнения задания: Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено

КМ-2. Силовые характеристики ВТСП образца

Формы реализации: Письменная работа

Тип контрольного мероприятия: Контрольная работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 25

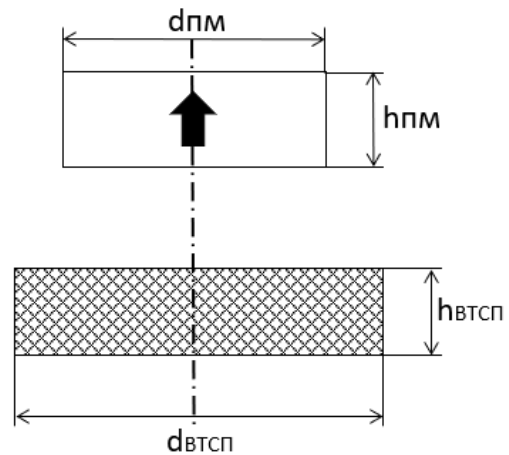
Процедура проведения контрольного мероприятия: Контрольная работа на компьютерах с использованием EasyMag3D

Краткое содержание задания:

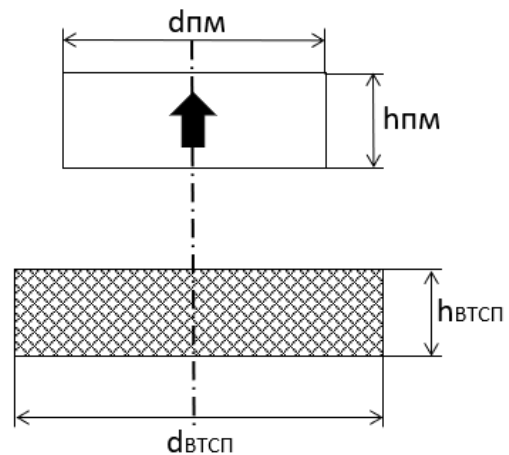
1. Построить модель магнитной системы в программе EasyMag3D
2. Рассчитать силовые характеристики ВТСП образца при взаимодействии с постоянным магнитом

Контрольные вопросы/задания:

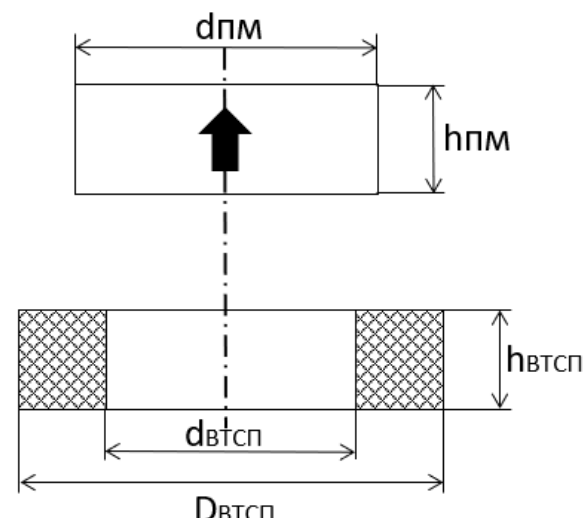
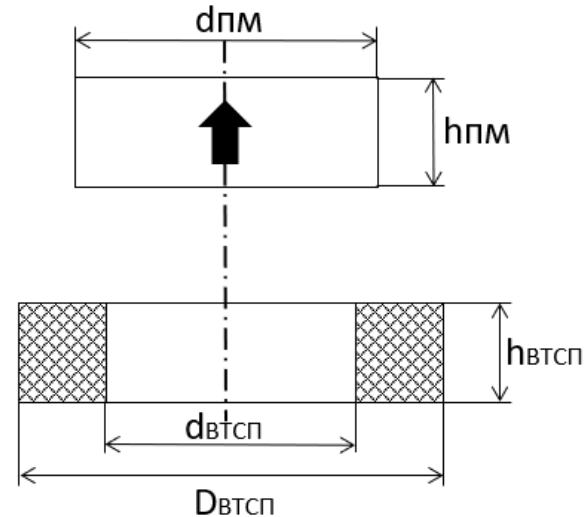
Уметь: применять методы и программные средства для моделирования элементов из сверхпроводящих материалов	1. Рассчитать статическую силовую характеристику ВТСП образца в виде диска после охлаждения в ZFC режиме. При расчете сил изменение зазора варьировать от 1 мм до 15 мм. $d_{\text{пм}} = 50$ мм, $h_{\text{пм}}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



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.
 $d_{PM} = 60$ мм, $h_{PM} = 10$ мм, $d_{VTS} = 45$ мм, $h_{VTS} = 10$ 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.
 $d_{PM} = 50$ мм, $h_{PM} = 10$ мм, $D_{VTS} = 60$ мм, $d_{VTS} = 40$ мм, $h_{VTS} = 10$ мм. Намагниченность постоянного магнита 1000 кА/м.

	 4. Рассчитать статическую силовую характеристику ВТСП образца в виде кольца после охлаждения в FC режиме. При расчете сил изменение зазора варьировать от 1 мм до 15 мм. $d_{пм} = 40$ мм, $h_{пм} = 10$ мм, $D_{ВТСП} = 50$ мм, $d_{ВТСП} = 35$ мм, $h_{ВТСП} = 8$ 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

Оценка: 2

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не 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, $n = 33$

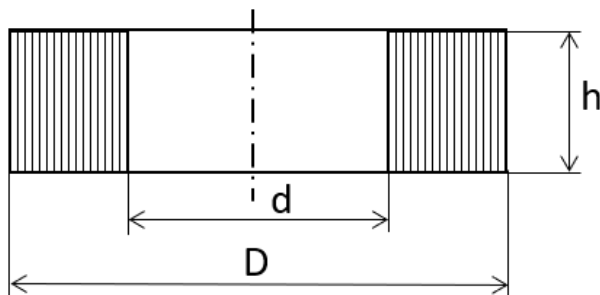


Figure 1 модель СПИН

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, $n = 33$

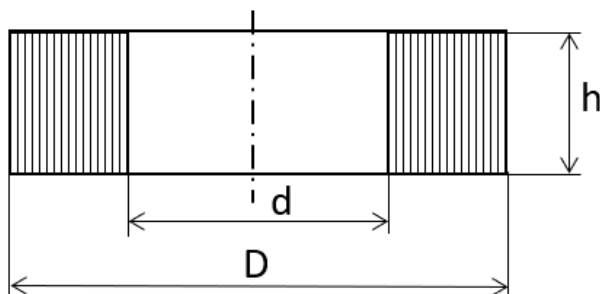


Figure 2 модель СПИН

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

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

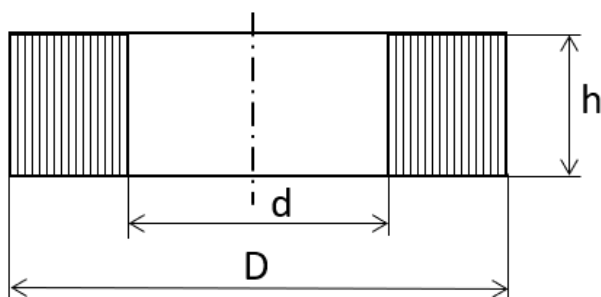


Figure 3 модель СПИН

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

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

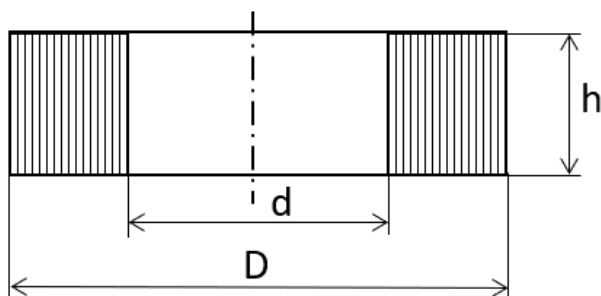


Figure 4 модель СПИН

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

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

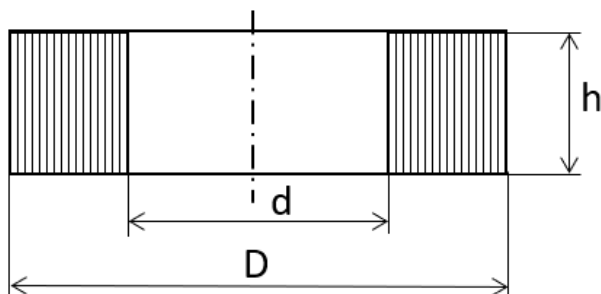


Figure 5 модель СПИН

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

Оценка: 2

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не 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 презентаций. 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	1.Характеристики, свойства и применение диборида 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

Оценка: 2

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не 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-2_{ПК-1} Критически анализирует свойства современных средств в области электромеханических преобразователей энергии и возможности методов 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.

Оценка: 2

Описание характеристики выполнения знания: Работа не выполнена или выполнена преимущественно неправильно

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»