

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

**Направление подготовки/специальность: 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника**

**Наименование образовательной программы: Электромеханика**

**Уровень образования: высшее образование - бакалавриат**

**Форма обучения: Очная**

**Оценочные материалы  
по дисциплине  
Методы расчетов электромагнитных и тепловых полей  
электротехнических объектов**

**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-a15ccd6f

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-7 Способен участвовать в планировании, подготовке и выполнении типовых экспериментальных исследований по заданной методике и анализировать полученные результаты

ИД-1 Применяет основные методы, способы и средства получения, хранения, переработки информации, использует компьютер для обработки информации

ИД-3 Разрабатывает упрощенные модели электромеханических преобразователей энергии и протекающих в них процессов

и включает:

**для текущего контроля успеваемости:**

Форма реализации: Письменная работа

1. Анализ процесса импульсного намагничивания постоянного магнита в катушках Гельмгольца (Контрольная работа)
2. Генератор с постоянными магнитами на роторе (Контрольная работа)
3. Преобразование энергии в электрических машинах (Контрольная работа)
4. Расчет стационарного магнитного поля (Контрольная работа)
5. Силовые взаимодействия в магнитном поле (Контрольная работа)
6. Структура обмотки (Контрольная работа)
7. Электрические параметры электромагнита переменного тока (Контрольная работа)
8. Электромагнитные величины (Тестирование)

Форма реализации: Проверка задания

1. Индуктивности обмоток (Расчетно-графическая работа)
2. Схема обмотки, кривая МДС и гармонический состав поля (Расчетно-графическая работа)
3. Элементарные магнитные поля в электрических машинах (Домашнее задание)

Форма реализации: Устная форма

1. Защита лабораторной работы №1 "Определение магнитных моментов намагниченных деталей с помощью катушек Гельмгольца" (Лабораторная работа)
2. Защита лабораторной работы №2 "Электромагнитный подвес" (Лабораторная работа)
3. Защита лабораторной работы №3 "Определение параметров магнитного поля и тяговых характеристик электромагнита постоянного тока броневого типа" (Лабораторная работа)
4. Защита лабораторной работы №4 "Исследование электромагнита переменного тока" (Лабораторная работа)

## БРС дисциплины

5 семестр

Раздел дисциплины	Весы контрольных мероприятий, %
-------------------	---------------------------------

	Индекс КМ:	КМ- 1	КМ- 2	КМ- 3	КМ- 4	КМ- 5
	Срок КМ:	4	8	12	16	16
Введение. Электромагнитные величины. Основные законы и понятия электромагнитного поля						
Введение. Электромагнитные величины. Основные законы и понятия электромагнитного поля	+					
Методы расчетов стационарного магнитного поля на основе интегральных и дифференциальных уравнений в частных производных. Численные методы решения уравнений.						
Методы расчетов стационарного магнитного поля на основе интегральных и дифференциальных уравнений в частных производных. Численные методы решения уравнений.			+			
Электрические и магнитные свойства материалов. Моделирование нелинейных и гистерезисных свойств материалов.						
Электрические и магнитные свойства материалов. Моделирование нелинейных и гистерезисных свойств материалов.				+	+	
Расчет параметров магнитных систем на основе анализа магнитного поля.						
Расчет параметров магнитных систем на основе анализа магнитного поля.						+
Вес КМ:		15	20	20	20	25

6 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %					
	Индекс КМ:	КМ- 6	КМ- 7	КМ- 8	КМ- 9	КМ- 10
	Срок КМ:	4	6	12	14	14
Интегральные и дифференциальные уравнения квазистационарного электромагнитного поля. Движение в магнитном поле						
Интегральные и дифференциальные уравнения квазистационарного электромагнитного поля. Движение в магнитном поле	+					
Электромагнитные процессы в электромагнитах постоянного и переменного тока						
Электромагнитные процессы в электромагнитах постоянного и переменного тока			+		+	
Электромагнитное поле в электрических машинах						
Электромагнитное поле в электрических машинах.				+		
Электромагнитное экранирование. Электромагнитный контроль						
Электромагнитное экранирование. Электромагнитный контроль						+
Вес КМ:		20	20	20	20	20

7 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %					
	Индекс КМ:	КМ- 11	КМ- 12	КМ- 13	КМ- 14	КМ- 15
	Срок КМ:	4	8	12	14	16
Методы расчета электромагнитных полей и процессов в электрических машинах						
Методы расчета электромагнитных полей и процессов в электрических машинах	+	+	+			
Магнитодвижущие силы, потокосцепления и индуктивности обмоток						
Магнитодвижущие силы, потокосцепления и индуктивности обмоток					+	+
Вес КМ:	10	20	20	30	20	

\$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-7	ИД-1 <sub>ПК-7</sub> Применяет основные методы, способы и средства получения, хранения, переработки информации, использует компьютер для обработки информации	Знать: аналитические и численные методы расчета магнитного поля в электрической машине Уметь: использовать методы расчетов магнитных полей для анализа магнитного состояния электрической машины применять численные методы и программные средства для расчетов квазистационарного электромагнитного поля применять численные методы и программные средства для расчетов стационарного электромагнитного поля	Расчет стационарного магнитного поля (Контрольная работа) Анализ процесса импульсного намагничивания постоянного магнита в катушках Гельмгольца (Контрольная работа) Элементарные магнитные поля в электрических машинах (Домашнее задание) Структура обмотки (Контрольная работа) Преобразование энергии в электрических машинах (Контрольная работа)
ПК-7	ИД-3 <sub>ПК-7</sub> Разрабатывает упрощенные модели электромеханических преобразователей энергии	Знать: принцип действия магнитной левитации методы контроля	Электромагнитные величины (Тестирование) Силовые взаимодействия в магнитном поле (Контрольная работа) Защита лабораторной работы №1 "Определение магнитных моментов намагниченных деталей с помощью катушек Гельмгольца"

	<p>и протекающих в них процессов</p>	<p>магнитных материалов и элементов магнитных систем          принцип действия и конструкции магнитных систем переменного тока          принцип действия и конструкции магнитных систем постоянного тока          основные понятия и термины          электромагнитного поля          основы          электромеханического преобразования энергии          Уметь:          выполнять контроль магнитных материалов с помощью катушек Гемльгольца          рассчитывать параметры магнитных систем электромагнитов с использованием численных методов          рассчитывать параметры магнитных систем электрических машин с использованием численных методов          проводить экспериментальные исследования и</p>	<p>(Лабораторная работа)          Защита лабораторной работы №2 "Электромагнитный подвес"          (Лабораторная работа)          Электрические параметры электромагнита переменного тока          (Контрольная работа)          Генератор с постоянными магнитами на роторе (Контрольная работа)          Защита лабораторной работы №3 "Определение параметров магнитного поля и тяговых характеристик электромагнита постоянного тока броневое типа" (Лабораторная работа)          Защита лабораторной работы №4 "Исследование электромагнита переменного тока" (Лабораторная работа)          Схема обмотки, кривая МДС и гармонический состав поля (Расчетно-графическая работа)          Индуктивности обмоток (Расчетно-графическая работа)</p>
--	--------------------------------------	--	---

		<p>рассчитывать параметры электромагнитов переменного тока с использованием численных методов проводить экспериментальные исследования и рассчитывать параметры электромагнитов постоянного тока с использованием численных методов анализировать силовые взаимодействия в магнитных системах применять аналитические и численные методы расчета для анализа процессов электромеханического преобразования энергии</p>	
--	--	--	--

## II. Содержание оценочных средств. Шкала и критерии оценивания

5 семестр

### КМ-1. Электромагнитные величины

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Тестирование

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 15

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Тест состоит из 15 пунктов на сопоставление термин=определение. На тест отводится 20 минут.

**Краткое содержание задания:**

Номер вопроса	Термин	Номер ответа (определения)
1	Напряжённость электрического поля	
2	Магнитная индукция	
3	Сила Кулона	

Номер определения	Определение
1	$QE$
2	Определяет силу, действующую на любую заряженную частицу в покое в электрическом поле
3	Определяет силу, действующую на любую движущуюся в магнитном поле заряженную частицу со скоростью $v$ [м/с] и зарядом $Q$ [Кл]

**Контрольные вопросы/задания:**

Знать: основные понятия и термины электромагнитного поля	<ol style="list-style-type: none"><li>1.Определение термина “Электрический заряд”</li><li>2.Определение термина “Электрическая постоянная”</li><li>3.Определение термина “Магнитная постоянная”</li><li>4.Определение термина “Электромагнитное поле”</li><li>5.Определение термина “Напряжённость электрического поля”</li><li>6.Определение термина “Плотностью тока проводимости”</li><li>7.Определение термина “Электрический диполь”</li><li>8.Определение термина “Электрическая поляризация”</li><li>9.Определение термина “Электрическая индукция”</li><li>10.Определение термина “Плотность электрического тока смещения”</li><li>11.Определение термина “Магнитная индукция”</li><li>12.Определение термина “Сила Кулона”</li><li>13.Определение термина “Сила Лоренца”</li><li>14.Определение термина “Намагниченность”</li><li>15.Определение термина “Напряженность магнитного поля”</li></ol>
--	---

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

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

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

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

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*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-2. Расчет стационарного магнитного поля**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

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

**Краткое содержание задания:**

Построить модель для расчета магнитной системы.

- Рассчитать и построить зависимость потокосцепления в катушке от осевого перемещения внутренней части магнитной системы в заданных пределах.
- Построить картину распределения намагниченности в деталях магнитной системы при симметричном и двух крайних положениях

**Контрольные вопросы/задания:**

<p>Уметь: применять численные методы и программные средства для расчетов стационарного электромагнитного поля</p>	<p>1. Рассчитать и построить зависимость потокосцепления в неподвижной (внешней) катушке от осевого перемещения внутренней части магнитной системы в пределах <math>X=\pm 16</math> мм. Построить картину распределения намагниченности в деталях магнитной системы при симметричном и двух крайних положениях.</p> <p><b>Исходные данные:</b></p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Плотность тока в катушках <math>J= 2</math> А/мм<sup>2</sup></li><li>2. Магнитопроводы, сердечники и полюса изготовлены материала Сталь 10.</li></ol>
---	---

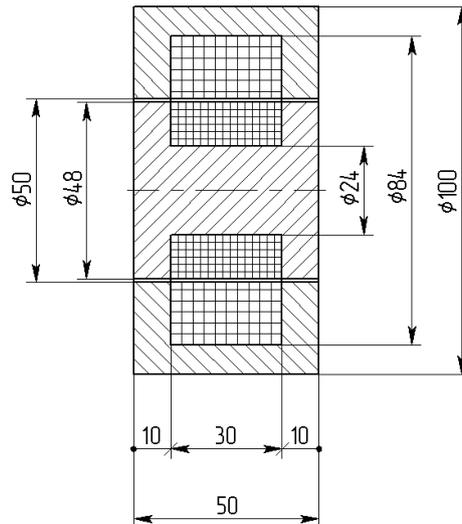


Figure 1 Геометрия магнитной системы

2. Рассчитать и построить зависимость потокосцепления в катушке от осевого перемещения внутренней части магнитной системы в пределах  $X = \pm 18$  мм.

Построить картину распределения намагниченности в деталях магнитной системы при симметричном и двух крайних положениях.

**Исходные данные:**

1. Намагниченность постоянных магнитов  $M = 1000$  кА/м,
2. Плотность тока в катушках  $J = 2$  А/мм<sup>2</sup>
3. Магнитопроводы, сердечники и полюса изготовлены материала Сталь 10.

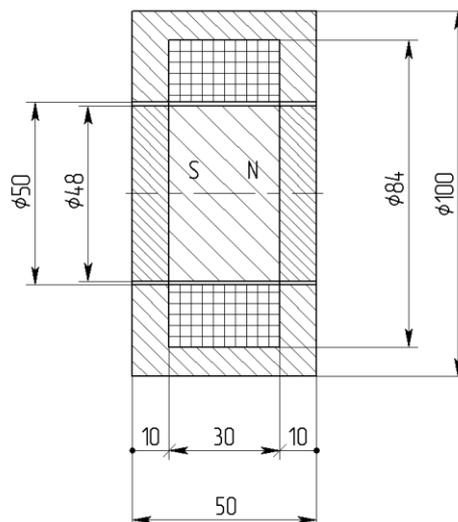


Figure 2 Геометрия магнитной системы

3. Рассчитать и построить зависимость

потокосцепления в катушке от осевого перемещения внутренней части магнитной системы в пределах  $X=\pm 20$  мм.

Построить картину распределения намагниченности в деталях магнитной системы при симметричном и двух крайних положениях.

**Исходные данные:**

1. Намагниченность постоянных магнитов  $M=1000$  кА/м,
2. Плотность тока в катушках  $J= 2$  А/мм<sup>2</sup>
3. Магнитопроводы, сердечники и полюса изготовлены материала Сталь 10.

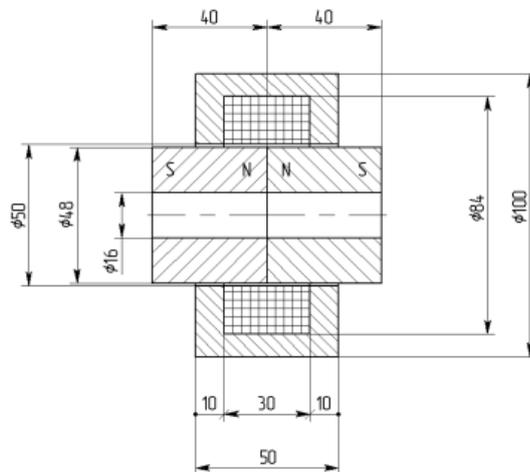


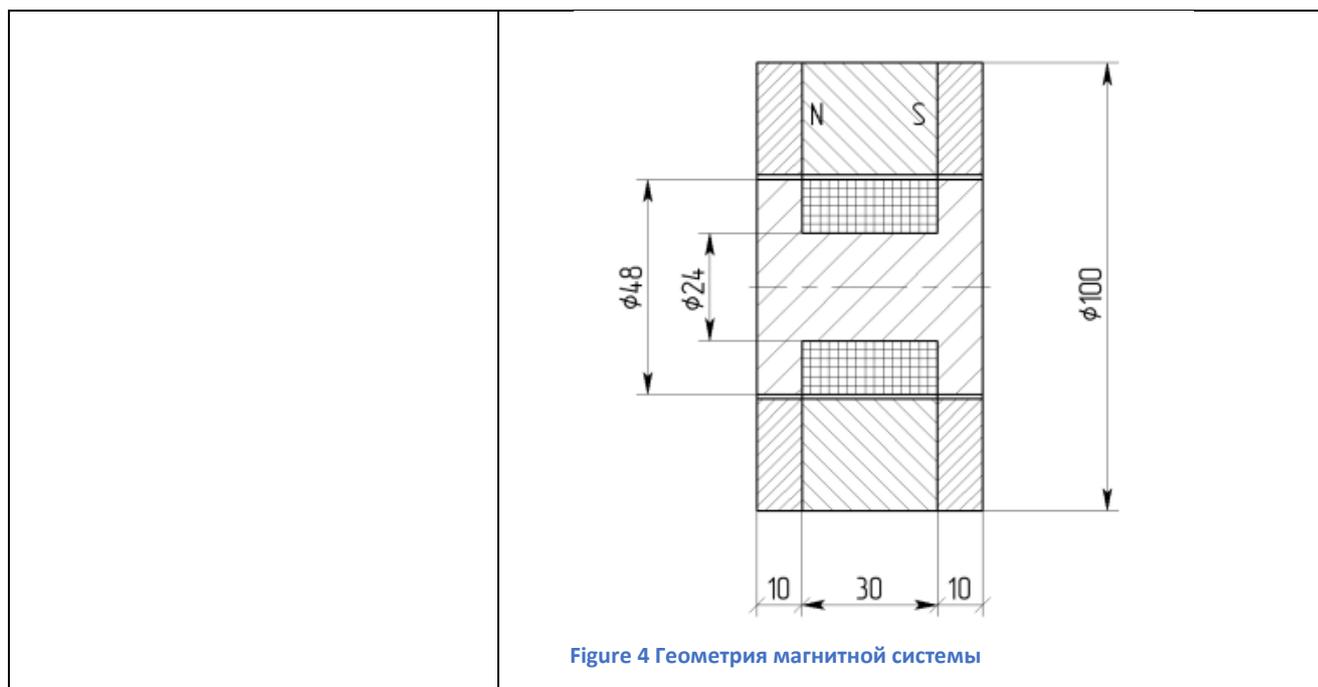
Figure 3 Геометрия магнитной системы

4. Рассчитать и построить зависимость потокосцепления в катушке от осевого перемещения внутренней части магнитной системы в пределах  $X=\pm 18$  мм.

Построить картину распределения намагниченности в деталях магнитной системы при симметричном и двух крайних положениях.

**Исходные данные:**

1. Намагниченность постоянных магнитов  $M=1000$  кА/м,
2. Плотность тока в катушках  $J= 4$  А/мм<sup>2</sup>
3. Магнитопроводы, сердечники и полюса изготовлены материала Сталь 10.



#### Описание шкалы оценивания:

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

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

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

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

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*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. Силовые взаимодействия в магнитном поле

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

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

#### Краткое содержание задания:

Построить модель для расчета сил в магнитной системе, состоящей из электромагнита и подвижного элемента. Рассчитать зависимость силы, действующей на подвижный элемент, от размера зазора между подвижным элементом и сердечником.

#### Контрольные вопросы/задания:

Уметь: анализировать силовые взаимодействия в магнитных системах

1. Рассчитать зависимость силы, действующей на подвижный элемент от размера зазора между подвижным элементом и сердечником. Зазор изменяется от 2 до 8 мм.

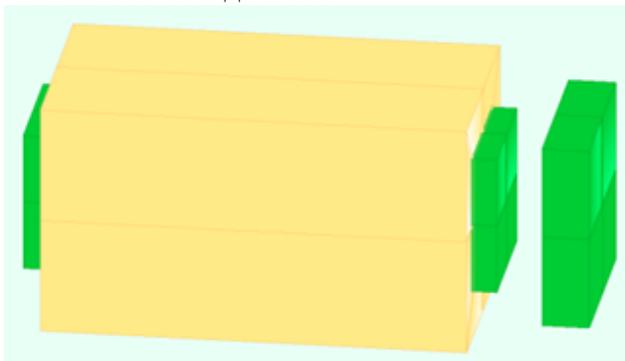


Figure 5 Геометрия магнитной системы

**Исходные данные:**

*Сердечник*

Сечение - 28x28 мм

Длина - 110 мм

Материал - Сталь 10

*Катушка электромагнита*

Внутреннее сечение - 28x28 мм

Внешнее сечение - 34x34 мм

Длина - 100 мм

Плотность тока - 10 А/мм<sup>2</sup>

Катушка расположена на сердечнике симметрично по длине

*Подвижный элемент*

Сечение - 26x26 мм

Высота - 10 мм

Материал - Сталь 10

2. Рассчитать зависимость силы, действующей на подвижный элемент от размера зазора между подвижным элементом и сердечником. Зазор изменяется от 2 до 8 мм.

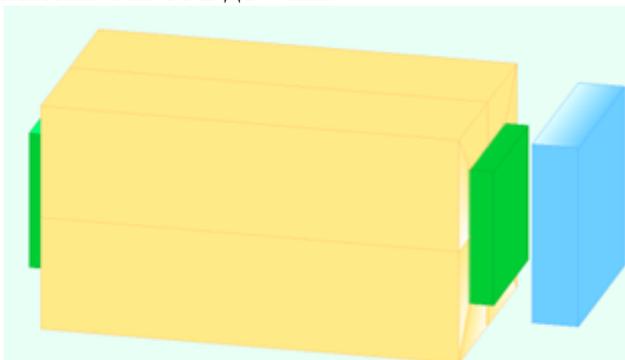


Figure 6 Геометрия магнитной системы

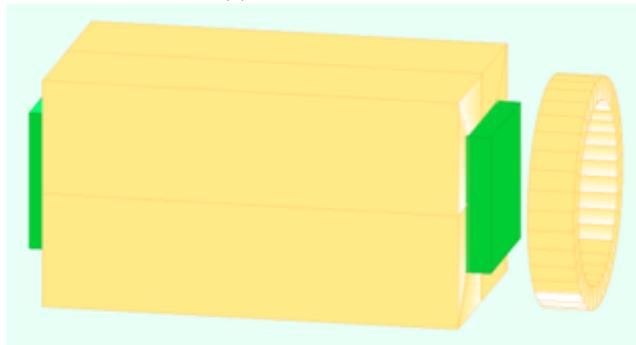
**Исходные данные:**

*Сердечник*

Сечение - 32x32 мм  
Длина - 90 мм  
Материал - Сталь 10

*Катушка электромагнита*  
Внутреннее сечение - 32x32 мм  
Внешнее сечение - 38x38 мм  
Длина - 85 мм  
Плотность тока - 10 А/мм<sup>2</sup>  
Катушка расположена на сердечнике симметрично по длине

*Подвижный элемент*  
Сечение - 36x36 мм  
Высота - 8 мм  
Намагниченность 1000 кА/м  
3. Рассчитать зависимость силы, действующей на подвижный элемент от размера зазора между подвижным элементом и сердечником. Зазор изменяется от 2 до 8 мм.



**Исходные данные:**

*Сердечник*  
Сечение - 22x22 мм  
Длина - 140 мм  
Материал - Сталь 10

*Катушка электромагнита*  
Внутреннее сечение - 22x22 мм  
Внешнее сечение - 28x28 мм  
Длина - 130 мм  
Плотность тока - 10 А/мм<sup>2</sup>  
Катушка расположена на сердечнике симметрично по длине

*Подвижный элемент*  
Внутренний диаметр - 22 мм  
Внешний диаметр - 28 мм  
Высота - 5 мм  
Плотность тока - 5 А/мм<sup>2</sup>

**Описание шкалы оценивания:**

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

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

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 60

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

Оценка: 3

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

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. Защита лабораторной работы №1 "Определение магнитных моментов намагниченных деталей с помощью катушек Гельмгольца"**

**Формы реализации:** Устная форма

**Тип контрольного мероприятия:** Лабораторная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студенту выдается два вопроса по теме лабораторной работы и отводится 15 минут на подготовку к защите.

**Краткое содержание задания:**

1. Пояснить выполнение одного из пунктов лабораторной работы.
2. Ответить на теоретический вопрос.

**Контрольные вопросы/задания:**

Знать: методы контроля магнитных материалов и элементов магнитных систем	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Дайте определение термина "потокосцепление".</li><li>2. Дайте определение термина "магнитный момент" намагниченного тела.</li><li>3. Дайте определение термина "намагниченность".</li><li>4. Какие соотношения размеров у катушек Гельмгольца?</li><li>5. Что называется постоянной катушек Гельмгольца?</li><li>6. Как устроены измерительные катушки Гельмгольца?</li><li>7. Как потокосцепление катушек Гельмгольца связано с намагниченностью испытуемых образцов?</li><li>8. Почему потокосцепление катушек Гельмгольца пропорционально осевой составляющей магнитного момента намагниченного тела?</li><li>9. Почему потокосцепление катушек Гельмгольца слабо зависит от положения намагниченного тела внутри зоны однородности?</li><li>10. Как рассчитать магнитный момент намагниченного тела по известному распределению намагниченности?</li></ol>
Уметь: выполнять контроль	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Как проводится контроль намагниченность</li></ol>

магнитных материалов с помощью катушек Гельмгольца	постоянных магнитов в катушках Гельмгольца?
--	---

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

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

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

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

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*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-5. Защита лабораторной работы №2 "Электромагнитный подвес"**

**Формы реализации:** Устная форма

**Тип контрольного мероприятия:** Лабораторная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 25

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студенту выдается два вопроса по теме лабораторной работы и отводится 15 минут на подготовку к защите.

**Краткое содержание задания:**

1. Пояснить выполнение одного из пунктов лабораторной работы.
2. Ответить на теоретический вопрос.

**Контрольные вопросы/задания:**

Знать: принцип действия магнитной левитации	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Принцип действия электромагнитного подвеса.</li> <li>2. Что такое точки устойчивого и неустойчивого равновесия?</li> <li>3. Объяснить принцип действия потенциометрического датчика, используемого для измерения усилий.</li> <li>4. Как зависит электромагнитная сила от диаметра стержня?</li> <li>5. Что такое ток трогания и как он измеряется?</li> <li>6. Как и почему изменяется тяговая характеристика электромагнитного подвеса при наличии и отсутствии ферромагнитного каркаса?</li> <li>7. Как определить координату зависания якоря в ЭМ подвесе?</li> <li>8. Что такое тяговая характеристика электромагнита?</li> <li>9. Как влияет форма якоря на характеристики электромагнита?</li> <li>10. Какие факторы влияют на значение</li> </ol>
---	---

<p>Уметь: проводить экспериментальные исследования и рассчитывать параметры электромагнитов постоянного тока с использованием численных методов</p>	<p>электромагнитной силы?</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Как измеряется ток трогания электромагнитного подвеса?</li> <li>2. Как измеряется тяговая характеристика электромагнитного подвеса?</li> <li>3. Как измеряется распределение магнитного потока в стержне электромагнитного подвеса?</li> <li>4. Как рассчитывается тяговая характеристика электромагнитного подвеса? Провести сравнение расчетных и экспериментальных данных.</li> <li>5. Как измеряется распределение магнитного потока в стержне электромагнитного подвеса? Провести сравнение расчетных и экспериментальных данных.</li> </ol>
---	---

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

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

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

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

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*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*

**6 семестр**

**КМ-6. Анализ процесса импульсного намагничивания постоянного магнита в катушках Гельмгольца**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

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

**Краткое содержание задания:**

Построить модель магнитной системы катушках Гельмгольца. Выполнить анализ процесса импульсного намагничивания постоянного магнита:

- - Определить электрические параметры катушек Гельмгольца;
- - Рассчитать параметры импульса тока при разряде конденсаторной батареи;
- - Рассчитать распределение намагниченности при максимуме тока (рабочие точки на начальной кривой намагничивания).

### Контрольные вопросы/задания:

Уметь: применять численные методы и программные средства для расчетов квазистационарного электромагнитного поля

1.

- Определить электрические параметры катушек Гельмгольца и рассчитать параметры импульса тока при разряде конденсаторной батареи при импульсном намагничивании

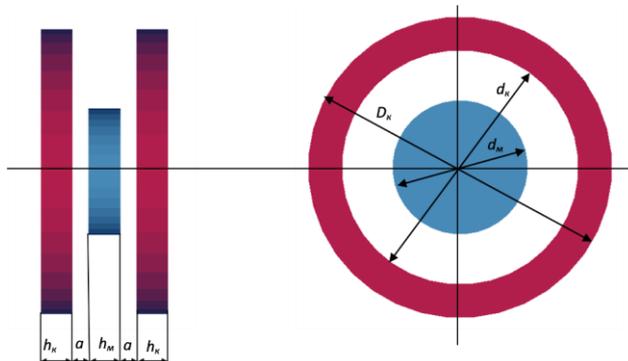


Figure 7 Геометрия магнитной системы

- постоянного магнита. Рассчитать и построить распределение намагниченности при максимуме тока (рабочие точки на начальной кривой намагничивания).

•

#### Исходные данные

*Катушки Гельмгольца*

Внешний диаметр  $D_k$  - 80 мм

Внутренний диаметр  $d_k$  - 60 мм

Высота катушки  $h_k$  - 10 мм

Коэффициент заполнения окна катушки - 0.6

Катушки включены последовательно согласно

Сопротивление присоединений конденсаторной батареи суммарное – 0.8 Ом

*Постоянный магнит*

Диаметр  $d_m$  - 30 мм

Высота  $h_m$  - 5 мм

Материал NdFeB (начальная).

Удельная электрическая проводимость – 5.0 МСим/м

2.

- Определить электрические параметры катушек Гельмгольца и рассчитать параметры импульса тока при разряде конденсаторной батареи при импульсном намагничивании

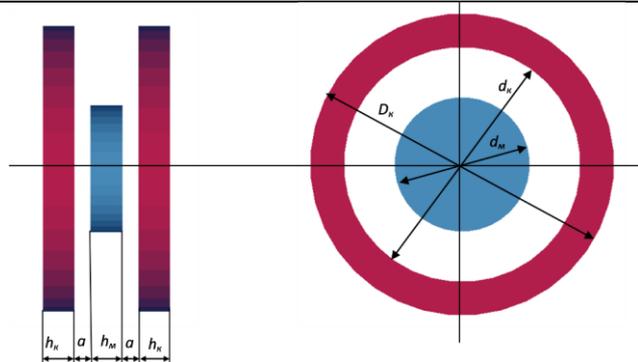


Figure 8 Геометрия магной системы

- постоянного магнита. Рассчитать и построить распределение намагниченности при максимуме тока (рабочие точки на начальной кривой намагничивания).
- 

### Исходные данные

*Катушки Гельмгольца*

Внешний диаметр  $D_k$  - 140 мм

Внутренний диаметр  $d_k$  - 100 мм

Высота катушки  $h_k$  - 15 мм

Коэффициент заполнения окна катушки - 0.6

Катушки включены последовательно согласно

Сопротивление присоединений конденсаторной батареи суммарное – 0.8 Ом

*Постоянный магнит*

Диаметр  $d_m$  - 50 мм

Высота  $h_m$  - 15 мм

Материал NdFeB (начальная).

Удельная электрическая проводимость – 5.0 МСим/м<sup>3</sup>.

- Определить электрические параметры катушек Гельмгольца и рассчитать параметры импульса тока при разряде конденсаторной батареи при импульсном намагничивании

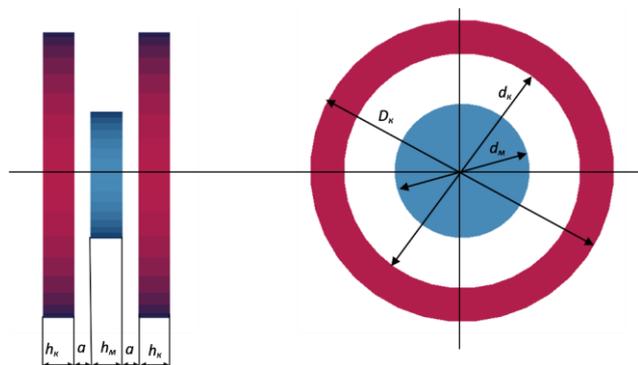


Figure 9 Геометрия магнитной системы

- постоянного магнита. Рассчитать и построить распределение намагниченности при максимуме тока (рабочие точки на начальной кривой намагничивания).

•  
**Исходные данные**

*Катушки Гельмгольца*

Внешний диаметр  $D_k$  - 180 мм

Внутренний диаметр  $d_k$  - 140 мм

Высота катушки  $h_k$  - 20 мм

Коэффициент заполнения окна катушки - 0.6

Катушки включены последовательно согласно

Сопротивление присоединений конденсаторной батареи суммарное – 0.8 Ом

*Постоянный магнит*

Диаметр  $d_m$  - 70 мм

Высота  $h_m$  - 25 мм

Материал NdFeB (начальная).

Удельная электрическая проводимость – 5.0 МСим/м  
4.

- Определить электрические параметры катушек Гельмгольца и рассчитать параметры импульса тока при разряде конденсаторной батареи при импульсном намагничивании

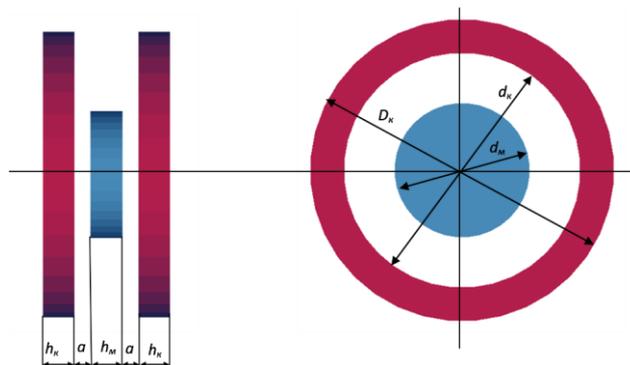


Figure 10 геометрия магнитной системы

- постоянного магнита. Рассчитать и построить распределение намагниченности при максимуме тока (рабочие точки на начальной кривой намагничивания).
- 

**Исходные данные**

*Катушки Гельмгольца*

Внешний диаметр  $D_k$  - 210 мм

Внутренний диаметр  $d_k$  - 180 мм

Высота катушки  $h_k$  - 25 мм

Коэффициент заполнения окна катушки - 0.6

Катушки включены последовательно согласно

Сопротивление присоединений конденсаторной батареи суммарное – 0.8 Ом

*Постоянный магнит*

Диаметр  $d_m$  - 90 мм

Высота  $h_m$  - 35 мм

Материал NdFeB (начальная).

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

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

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

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

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*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-7. Электрические параметры электромагнита переменного тока**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

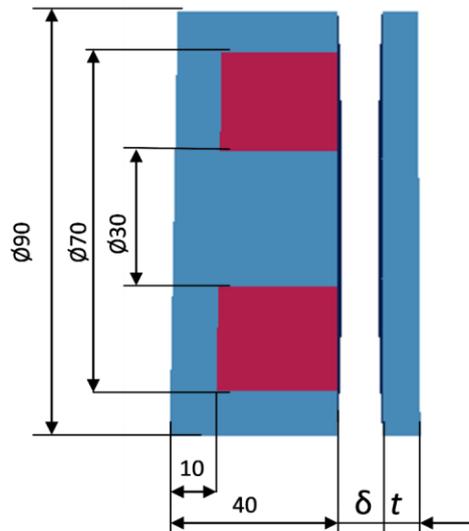
**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Контрольная работа на компьютерах с использованием EasyMag3D

**Краткое содержание задания:**

Построить модель магнитной системы. Определите электрические параметры электромагнита переменного тока со сплошным стальным сердечником.

**Контрольные вопросы/задания:**

<p>Уметь: рассчитывать параметры магнитных систем электромагнитов с использованием численных методов</p>	<p>1. Определите электрические параметры электромагнита переменного тока со сплошным стальным сердечником <math>Z = R_{\text{провода}} + R_{\text{потерь}} + j\omega L_{\text{катушки}}</math></p>
--	--



### Исходные данные

Частота - 50 Гц

Удельная эл. проводимость 1 МСим/м

Относительная магн. проницаемость - 200

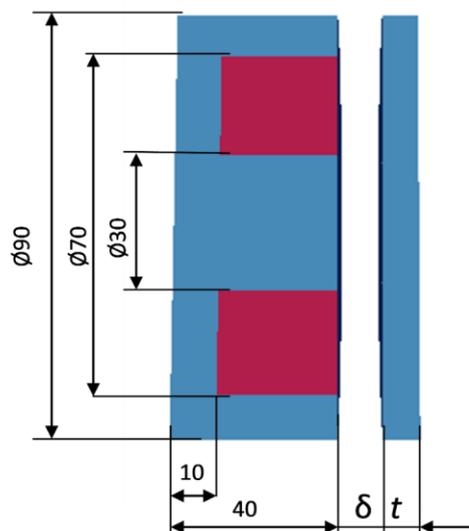
Зазор  $\delta$  - 2 мм

Толщина якоря  $t$  - 10 мм

Число витков - 300

Сечение провода - 1.0 мм<sup>2</sup>

2. Определите электрические параметры электромагнита переменного тока со сплошным стальным сердечником  $Z = R_{\text{провода}} + R_{\text{потерь}} + j\omega L_{\text{катушки}}$



### Исходные данные

Частота - 100 Гц

Удельная эл. проводимость 3 МСим/м

Относительная магн. проницаемость - 100

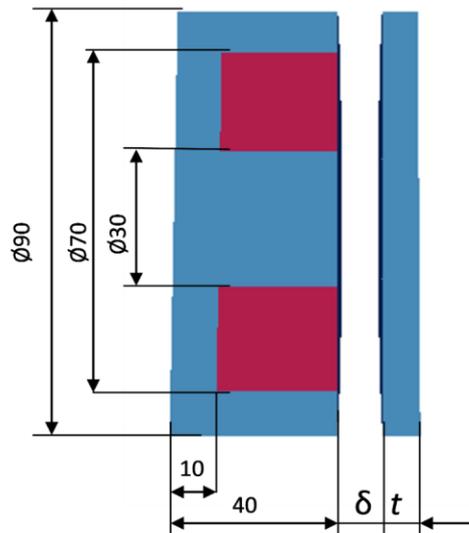
Зазор  $\delta$  - 6 мм

Толщина якоря  $t$  - 10 мм

Число витков - 500

Сечение провода -  $0.6 \text{ мм}^2$

3. Определите электрические параметры электромагнита переменного тока со сплошным стальным сердечником  $Z = R_{\text{провода}} + R_{\text{потерь}} + j\omega L_{\text{катушки}}$



**Исходные данные**

Частота - 75 Гц

Удельная эл. проводимость 5 МСим/м

Относительная магн. проницаемость - 150

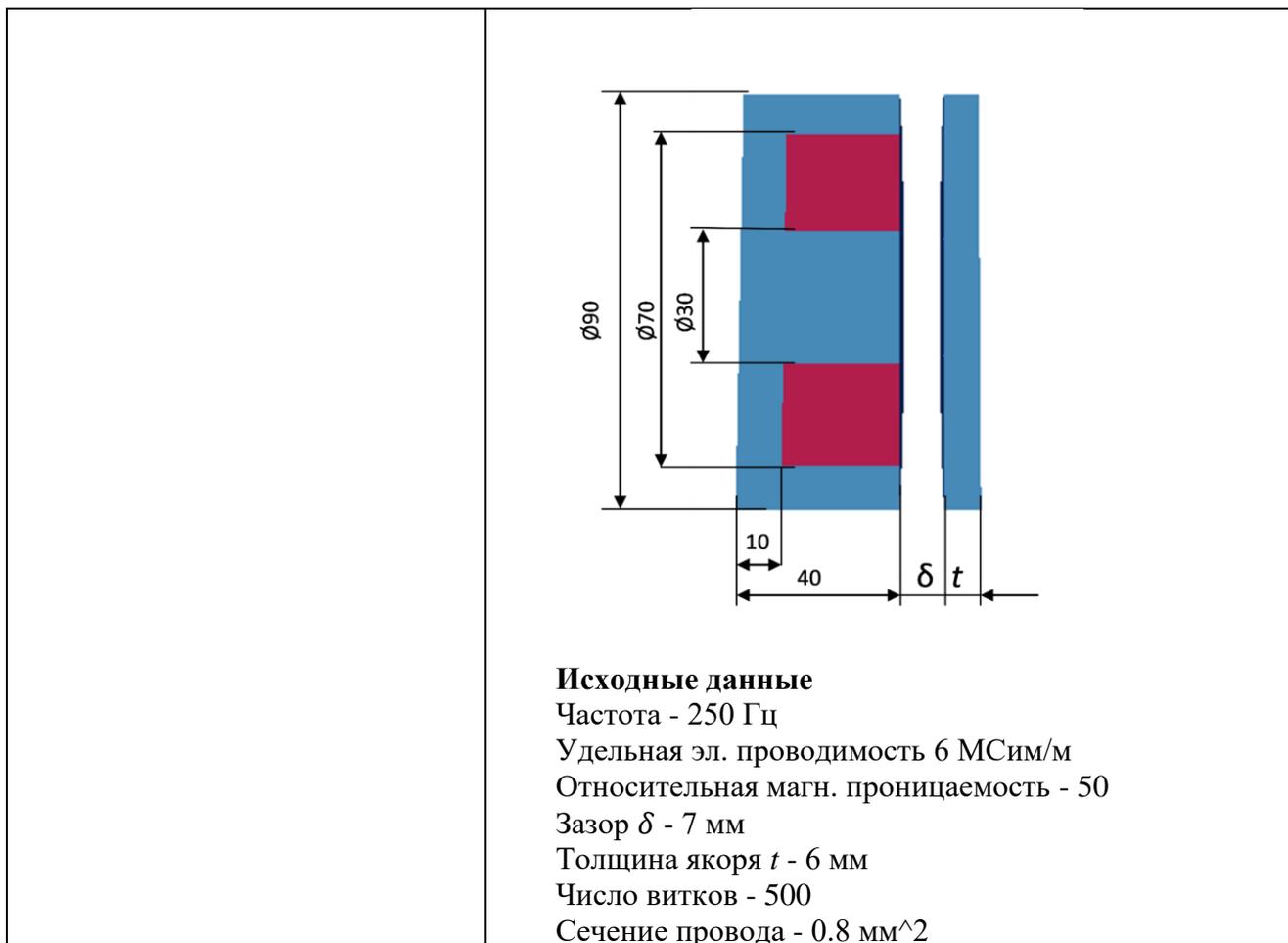
Зазор  $\delta$  - 5 мм

Толщина якоря  $t$  - 14 мм

Число витков - 500

Сечение провода -  $0.4 \text{ мм}^2$

4. Определите электрические параметры электромагнита переменного тока со сплошным стальным сердечником  $Z = R_{\text{провода}} + R_{\text{потерь}} + j\omega L_{\text{катушки}}$



**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

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

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

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

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*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-8. Генератор с постоянными магнитами на роторе**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

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

**Краткое содержание задания:**

Построить модель магнитной системы генератора с постоянными магнитами на роторе.

Рассчитать:

1. Зависимость механического момента, действующего на ротор, от угла поворота ротора при постоянных токах в фазах статора.
2. ЭДС холостого хода генератора

**Контрольные вопросы/задания:**

Уметь: рассчитывать параметры магнитных систем электрических машин с использованием численных методов

1. Выполнить анализ магнитной системы генератора с постоянными магнитами на роторе. Рассчитать ЭДС холостого хода генератора. Рассчитать зависимость механического момента, действующего на ротор, от угла поворота ротора при постоянных токах в фазах статора, соответствующих моменту времени с максимальным током в одной из фаз.

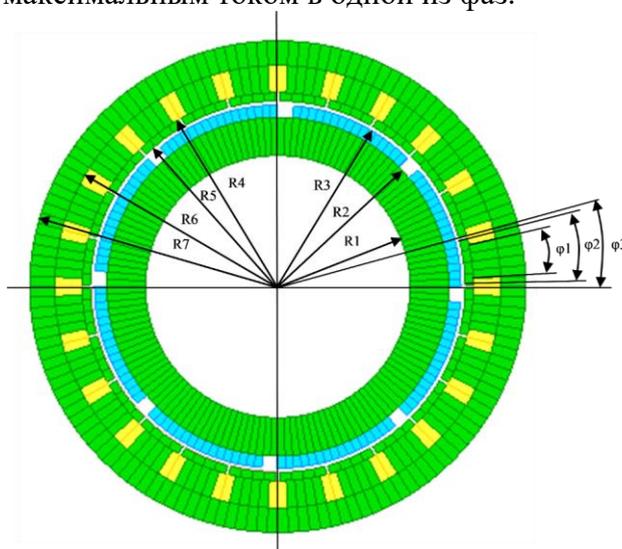


Figure 11 Геометрия магнитной системы

**Исходные данные**

Длина машины - 200 мм

Намагниченность постоянных магнитов по радиусу - 1100 кА/м

Число пар полюсов - 4

Скорость вращения - 1000 об/мин

Число витков катушек на полюсах - 200

Площадь поперечного сечения катушки равна 1/2 площади окна между полюсами

*Геометрические размеры (указаны на рисунке)*

R1 = 48 мм

R2 = 63 мм

R3 = 68 мм

R4 = 72 мм

R5 = 69 мм

R6 = 81 мм

R7 = 93 мм

$$\phi_1 = 10^\circ$$

$$\phi_2 = 10^\circ$$

$$\phi_3 = 15^\circ$$

2. Выполнить анализ магнитной системы генератора с постоянными магнитами на роторе. Рассчитать ЭДС холостого хода генератора. Рассчитать зависимость механического момента, действующего на ротор, от угла поворота ротора при постоянных токах в фазах статора, соответствующих моменту времени с максимальным током в одной из фаз.

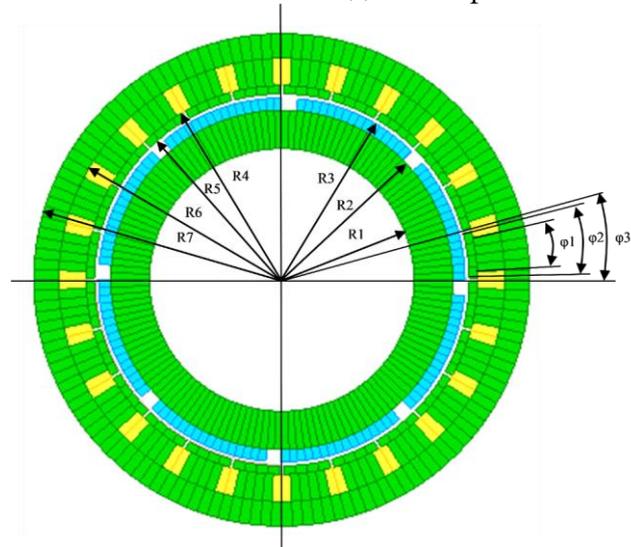


Figure 12 Геометрия магнитной системы

### Исходные данные

Длина машины - 200 мм

Намагниченность постоянных магнитов по радиусу - 1100 кА/м

Число пар полюсов - 4

Скорость вращения - 1000 об/мин

Число витков катушек на полюсах - 200

Площадь поперечного сечения катушки равна 1/2 площади окна между полюсами

*Геометрические размеры (указаны на рисунке)*

$$R_1 = 68 \text{ мм}$$

$$R_2 = 90 \text{ мм}$$

$$R_3 = 95 \text{ мм}$$

$$R_4 = 99 \text{ мм}$$

$$R_5 = 96 \text{ мм}$$

$$R_6 = 108 \text{ мм}$$

$$R_7 = 123 \text{ мм}$$

$$\phi_1 = 12^\circ$$

$$\phi_2 = 10^\circ$$

$$\phi_3 = 15^\circ$$

3. Выполнить анализ магнитной системы генератора с постоянными магнитами на роторе. Рассчитать ЭДС холостого хода генератора. Рассчитать зависимость механического момента, действующего на ротор, от угла поворота ротора при постоянных токах в фазах

статора, соответствующих моменту времени с максимальным током в одной из фаз.

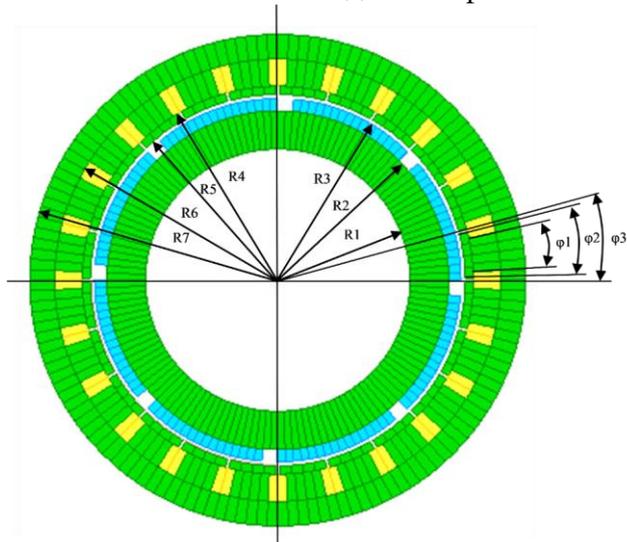


Figure 13 Геометрия магнитной системы

#### Исходные данные

Длина машины - 200 мм

Намагниченность постоянных магнитов по радиусу - 1100 кА/м

Число пар полюсов - 4

Скорость вращения - 1000 об/мин

Число витков катушек на полюсах - 200

Площадь поперечного сечения катушки равна 1/2 площади окна между полюсами

*Геометрические размеры (указаны на рисунке)*

R1 = 156 мм

R2 = 224 мм

R3 = 234 мм

R4 = 239 мм

R5 = 235 мм

R6 = 268 мм

R7 = 298 мм

$\phi 1 = 10^\circ$

$\phi 2 = 10^\circ$

$\phi 3 = 15^\circ$

4. Выполнить анализ магнитной системы генератора с постоянными магнитами на роторе. Рассчитать ЭДС холостого хода генератора. Рассчитать зависимость механического момента, действующего на ротор, от угла поворота ротора при постоянных токах в фазах статора, соответствующих моменту времени с максимальным током в одной из фаз.

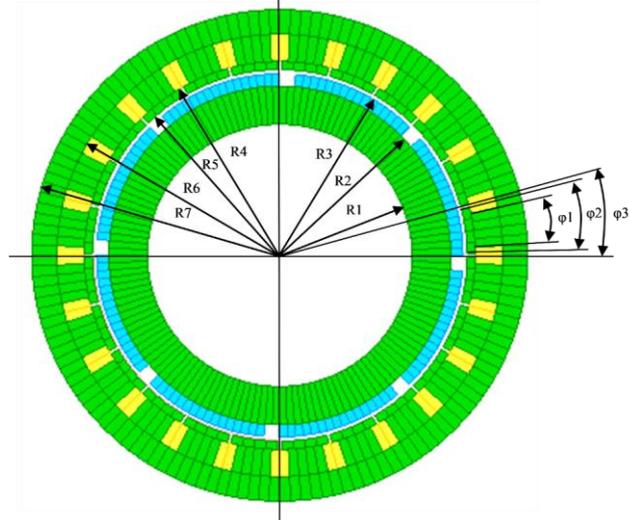


Figure 14 Геометрия магнитной системы

#### Исходные данные

Длина машины - 200 мм

Намагниченность постоянных магнитов по радиусу - 1100 кА/м

Число пар полюсов - 4

Скорость вращения - 1000 об/мин

Число витков катушек на полюсах - 200

Площадь поперечного сечения катушки равна 1/2 площади окна между полюсами

*Геометрические размеры (указаны на рисунке)*

R1 = 148 мм

R2 = 208 мм

R3 = 218 мм

R4 = 223 мм

R5 = 219 мм

R6 = 252 мм

R7 = 282 мм

$\phi 1 = 14^\circ$

$\phi 2 = 10^\circ$

$\phi 3 = 15^\circ$

#### Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

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

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 60

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

Оценка: 3

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

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-9. Защита лабораторной работы №3 "Определение параметров магнитного поля и тяговых характеристик электромагнита постоянного тока броневого типа"

**Формы реализации:** Устная форма

**Тип контрольного мероприятия:** Лабораторная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студенту выдается два вопроса по теме лабораторной работы и отводится 15 минут на подготовку к защите.

**Краткое содержание задания:**

1. Пояснить выполнение одного из пунктов лабораторной работы.
2. Ответить на теоретический вопрос.

**Контрольные вопросы/задания:**

Знать: принцип действия и конструкции магнитных систем постоянного тока	<ol style="list-style-type: none"><li>1. На что влияет форма полюсов электромагнита? Почему?</li><li>2. Как измеряется потокосцепление?</li><li>3. Как зависит электромагнитная сила от тока при постоянном зазоре? Почему она имеет нелинейный характер?</li><li>4. Какой зависимостью определяются магнитные свойства материалов?</li><li>5. Что такое "насыщение"?</li><li>6. Как определяется потокосцепление в программе EasyMag3D?</li><li>7. Что такое сила отрыва якоря и как она связана с электромагнитной силой?</li><li>8. Как влияет форма полюсов на тяговую характеристику? Почему?</li><li>9. Как определяется плотность тока <math>J</math> в сечении катушки электромагнита?</li><li>10. Объясните принцип действия электромагнита из лабораторной работы. Какие функции выполняет стоп, якорь электромагнита?</li><li>11. Приведите пример электрических аппаратов в которых используется электромагнит постоянного тока. Для каких целей?</li></ol>
Уметь: рассчитывать параметры магнитных систем электромагнитов с использованием численных методов	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Как измеряется тяговая характеристика электромагнита постоянного тока? Провести сравнение расчетных и экспериментальных данных.</li><li>2. Как измеряется зависимость электромагнитной силы от тока электромагнита постоянного тока? Провести сравнение расчетных и экспериментальных данных.</li><li>3. Как измеряется распределение потока вдоль якоря и стопа электромагнита постоянного тока? Провести сравнение расчетных и экспериментальных данных.</li></ol>

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

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

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

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

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*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-10. Защита лабораторной работы №4 "Исследование электромагнита переменного тока"**

**Формы реализации:** Устная форма

**Тип контрольного мероприятия:** Лабораторная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студенту выдается два вопроса по теме лабораторной работы и отводится 15 минут на подготовку к защите.

**Краткое содержание задания:**

1. Пояснить выполнение одного из пунктов лабораторной работы.
2. Ответить на теоретический вопрос.

**Контрольные вопросы/задания:**

<p>Знать: принцип действия и конструкции магнитных систем переменного тока</p>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Как рассчитать действующее значение тока, если известна зависимость тока от времени?</li><li>2. Как измерить магнитный поток в сердечнике электромагнита переменного тока?</li><li>3. Какое влияние оказывает экран на ток электромагнита?</li><li>4. Какие параметры электрической цепи электромагнита изменяются при установке экрана? Почему?</li><li>5. Почему изменяется ток электромагнита при изменении зазора якоря?</li><li>6. Что характеризует тангенс угла потерь и как на его значение влияет экран?</li><li>7. Какие допущения были приняты при построении модели электрической цепи электромагнита переменного тока в Matlab Simulink?</li><li>8. Каким образом магнитные и электропроводящие свойства материала сердечника электромагнита отражаются на осциллограмме тока катушки электромагнита?</li></ol>
--	---

	9.Как изменится ток электромагнита без экрана, если частота напряжения уменьшится в 2 раза?
Уметь: проводить экспериментальные исследования и рассчитывать параметры электромагнитов переменного тока с использованием численных методов	1.Как измеряются электрические параметры электромагнита постоянного тока? 2.Как рассчитываются потокосцепления катушки электромагнита и измерительных катушек в программном комплексе EasyMag3D? 3.Как рассчитываются параметры макромодели электромагнита переменного тока с помощью EasyMag3D? 4.Как измеряются потокосцепления в измерительных катушках в электромагните переменного тока? 5.Как рассчитываются электрические параметры электромагнита постоянного тока? 6.Каким образом моделируется электропроводящий экран в макромодели электромагнита переменного тока?

#### Описание шкалы оценивания:

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

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

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

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

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*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*

#### 7 семестр

#### КМ-11. Элементарные магнитные поля в электрических машинах

**Формы реализации:** Проверка задания

**Тип контрольного мероприятия:** Домашнее задание

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 10

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Решение задач по численному расчету магнитного поля

#### Краткое содержание задания:

Анализ магнитного поля (четное поле, нечетное поле, поле зубцового контура) для заданных размеров зубцовой зоны.

#### Контрольные вопросы/задания:

Знать: аналитические и	1.Каковы граничные условия для четного поля в
------------------------	---

численные методы расчета магнитного поля в электрической машине	зазоре под пазом ЭМ? 2.Каковы граничные условия для нечетного поля в зазоре под пазом ЭМ? 3.В чем заключаются особые граничные условия для поля зубцового контура?
Уметь: использовать методы расчетов магнитных полей для анализа магнитного состояния электрической машины	1.Построить кривую удельной магнитной проводимости зазора для случая четного магнитного поля. Рассчитать магнитную проводимость половины зубцового деления. 2.Построить кривую удельной магнитной проводимости зазора для случая нечетного магнитного поля. Рассчитать магнитную проводимость половины зубцового деления. 3.Построить кривую удельной магнитной проводимости зазора для поля зубцового контура. Рассчитать магнитную проводимость зубцового деления.

#### Описание шкалы оценивания:

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

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

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

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

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*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-12. Структура обмотки

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Решение задач по вариантам

#### Краткое содержание задания:

Решение задач на построение схемы обмотки, формирование матрицы структуры обмотки, расчет матрицы преобразования токов ветвей к токам зубцовых контуров

#### Контрольные вопросы/задания:

Знать: аналитические и численные методы расчета магнитного поля в электрической машине	1.Что такое матрица структуры обмотки? 2.Чем отличаются токи зубцовых контуров, найденные с точностью до постоянной, от точных значений токов?
--	---

	3. Что входит в состав матрицы преобразования токов ветвей к токам зубцовых контуров?
<p>Уметь: использовать методы расчетов магнитных полей для анализа магнитного состояния электрической машины</p>	<p>1. Составить матрицу структуры для сложной двухслойной обмотки, расположенной на сердечнике</p> <p>1. Обмотка имеет следующие данные: <math>m_1=3, 2p=4, q_1=3, y=7, W_k=5</math></p> <p>2. Составить матрицу структуры для простой двухслойной обмотки, расположенной на сердечнике</p> <p>1. Обмотка имеет следующие данные: <math>m_1=5, 2p=2, q_1=3, y=6, W_k=5</math></p> <p>3. Составить схему сложной многофазной двухслойной обмотки, имеющей следующие данные: <math>m_1=3, 2p=4, q_1=3, y=7</math></p> <p>4. Для трехфазной сложной двухслойной обмотки, расположенной на сердечнике 1 (<math>2p=2, q_1=1, y=2, W_k=5</math>), задавшись током в первом зубцовом контуре <math>i_1'=0</math>, найти с точностью до постоянной токи всех зубцовых контуров сердечника 1 при токах в ветвях обмотки, имеющих следующие значения: <math>i_{b1} = 10A, i_{b2} = -5A, i_{b3} = -5A</math>. Дана матрица структуры обмотки.</p> <p>5. Для трехфазной сложной двухслойной обмотки, расположенной на сердечнике 1 (<math>2p=2, q_1=1, y=2, W_k=5</math>), найти матрицу <math>[F_1]</math> и определить с ее помощью полные токи зубцовых контуров сердечника 1 при токах в ветвях обмотки, имеющих следующие значения: <math>i_{b1} = 10A, i_{b2} = -5A, i_{b3} = -5A</math>. Дана матрица <math>[F_1]</math>.</p> <p>6. Для трехфазной сложной двухслойной обмотки, расположенной на сердечнике 1 (<math>2p=2, q_1=1, y=2, W_k=3</math>), составить матрицу преобразования потокосцеплений зубцовых контуров в потокосцепления ветвей <math>[c_1]</math>. Дана матрица преобразования токов ветвей к токам зубцовых контуров с точностью до постоянной <math>[F_1]</math>.</p>

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

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

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

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

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*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-13. Преобразование энергии в электрических машинах

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Решение задачи по вариантам

#### Краткое содержание задания:

Решение задач по составлению матрицы проводимостей, расчету потоков и потокосцеплений, расчету энергии магнитного поля.

#### Контрольные вопросы/задания:

<p>Знать: аналитические и численные методы расчета магнитного поля в электрической машине</p>	<p>1.Что входит в структуру матрицы проводимостей зубцовых контуров? 2.Чем отличается поток зубца от потокосцепления зубцового контура? 3.Как связана энергия, запасенная в магнитном поле электрической машины, с индуктивностями ветвей обмотки?</p>
<p>Уметь: использовать методы расчетов магнитных полей для анализа магнитного состояния электрической машины</p>	<p>1.Для трехфазной сложной двухслойной обмотки, расположенной на сердечнике 1 (<math>2p=2, q1=1, y=2, Wk=5</math>), составить матрицу проводимости зубцовых контуров сердечника 1 для потокосцеплений <math>[LY1]</math> и определить с ее помощью вектор потокосцеплений зубцовых контуров сердечника 1. Проводимость потокосцепления пазового рассеяния <math>=0,3 \times m0</math> Гн. Проводимость для полного потокосцепления самоиндукции зубцового контура <math>s</math> сердечника 1 <math>=1,9 \times m0</math> Гн. Дан вектор полных токов зубцовых контуров. 2.Электрическая машина имеет <math>z1=15</math> зубцов на сердечнике 1 и <math>z2=21</math> зубец на сердечнике 2. Ось зубца 10 сердечника 1 совпадает с осью зубца 17 сердечника 2. Найти поток <math>F10</math> в основании зубца 10 и потокосцепление <math>Y10</math> зубцового контура 10, если отличаются от нуля только следующие проводимости взаимной индукции с 10 контуром: 10-9, 10-11, 10-16, 10-17, 10-18. Полные токи зубцовых контуров: <math>i9=50A; i10=10A; i11=-10A; i16=25A; i17=30A; i18=40A</math>. 3.Для электрической машины с трехфазной сложной двухслойной обмоткой, расположенной на сердечнике 1 (<math>2p=2, q1=1, y=2, Wk=5</math>), определить энергию, запасенную в магнитном поле машины при токах в ветвях обмотки, имеющих следующие значения: <math>i_{в1} = -5A, i_{в2} = 10A, i_{в3} = -5A</math>. Полная самоиндуктивность ветвей обмотки <math>L_{ii}=160 \times m0</math> Гн. Полная взаимная индуктивность ветвей обмотки <math>L_{ij}=-80 \times m0</math> Гн.</p>

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

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

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

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

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*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-14. Схема обмотки, кривая МДС и гармонический состав поля**

**Формы реализации:** Проверка задания

**Тип контрольного мероприятия:** Расчетно-графическая работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 30

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Выполнение расчетного задания по вариантам

**Краткое содержание задания:**

Выполнение расчетного задания - задача 1

**Контрольные вопросы/задания:**

Знать: основы электромеханического преобразования энергии	1.Что такое матрица структуры обмотки? 2.Что такое первоначальные гармоники? 3.Что такое сопутствующие гармоники?
Уметь: применять аналитические и численные методы расчета для анализа процессов электромеханического преобразования энергии	1.Построить матрицу структуры обмотки. 2.Найти матрицу преобразования токов ветвей к токам зубцовых контуров. 3.Найти вектор токов зубцовых контуров для разных моментов времени. 4.Определить гармонический состав МДС обмотки вплоть до первых двух зубцовых гармоник. 5.Определить амплитуды индукции на поверхности гладкого невозбужденного сердечника.

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

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

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

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

*Оценка:* 3

*Нижний порог выполнения задания в процентах:* 50

*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-15. Индуктивности обмоток**

**Формы реализации:** Проверка задания

**Тип контрольного мероприятия:** Расчетно-графическая работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Выполнение расчетного задания по вариантам.

**Краткое содержание задания:**

Выполнение расчетного задания - задачи 2-5.

**Контрольные вопросы/задания:**

Знать: основы электромеханического преобразования энергии	1.Что такое главная индуктивность фазы? 2.Что такое главная индуктивность многофазной обмотки? 3.Какие поля рассеяния выделяют в электрических машинах?
Уметь: применять аналитические и численные методы расчета для анализа процессов электромеханического преобразования энергии	1.Рассчитать сопротивления самоиндукции фазы для первоначальных гармоник поля в зазоре. 2.Рассчитать индуктивное сопротивление дифференциального рассеяния. 3.Определить индуктивное сопротивление пазового рассеяния. 4.Определить индуктивные сопротивления лобового рассеяния обмоток.

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка:* 5

*Нижний порог выполнения задания в процентах:* 70

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

*Оценка:* 4

*Нижний порог выполнения задания в процентах:* 60

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

*Оценка:* 3

*Нижний порог выполнения задания в процентах:* 50

*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

5 семестр

Форма промежуточной аттестации: Экзамен

Пример билета

- Вопрос 1.
- Вопрос 2.
- Задача

Процедура проведения

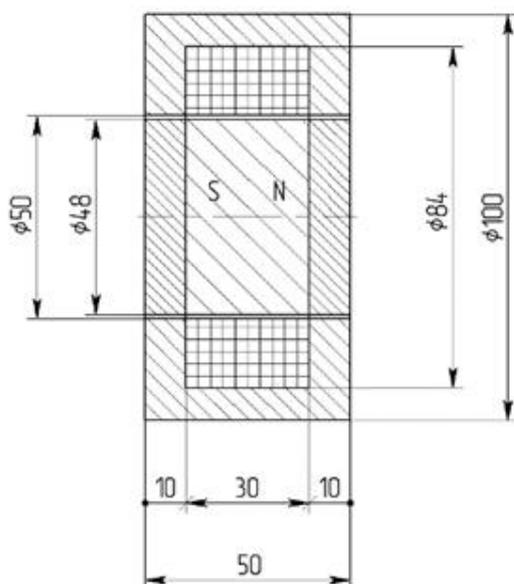
Проводится по билетам в виде подготовки и изложения развернутого ответа. Каждый билет включает в себя один теоретический вопрос и два практических задания на компьютере.

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

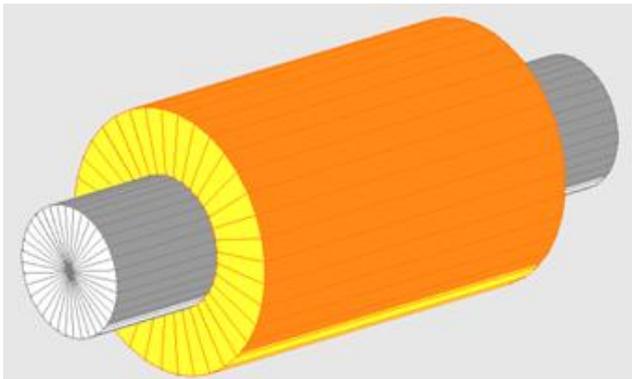
**1. Компетенция/Индикатор:** ИД-1ПК-7 Применяет основные методы, способы и средства получения, хранения, переработки информации, использует компьютер для обработки информации

**Вопросы, задания**

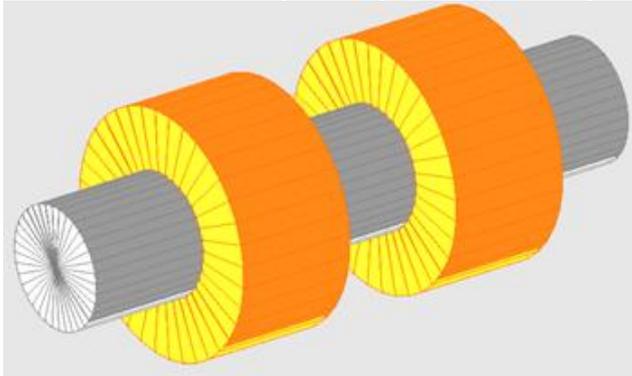
1. Рассчитать и построить распределение векторов намагниченности при перемещении внутренней части магнитной системы в пределах  $X = \pm 16$  мм.



2. Рассчитать индуктивность катушки со стальным сердечником.



3. Рассчитать взаимную индуктивность катушек на стальном сердечнике.



**2. Компетенция/Индикатор:** ИД-3<sub>ПК-7</sub> Разрабатывает упрощенные модели электромеханических преобразователей энергии и протекающих в них процессов

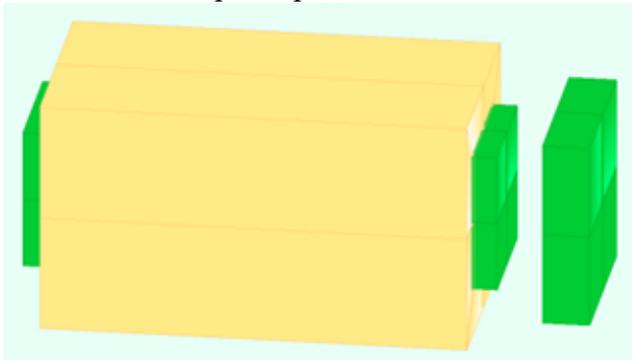
### Вопросы, задания

1. Электромагнитные величины: электрический заряд, электрическая постоянная, магнитная постоянная, плотность электрического заряда, напряжённость электрического поля, плотностью тока, проводимости, электрический диполь, электрическая поляризация, электрическая индукция, плотность электрического тока смещения.
2. Электромагнитные величины: магнитная индукция, сила Кулона, сила Лоренца, намагничённость, напряжённость магнитного поля.
3. Законы электромагнитного поля. Источники поля векторов магнитной индукции и напряжённости магнитного поля.
4. Закон электромагнитной индукции в дифференциальной форме при наличии движения. Статические стационарные и квазистационарные поля. Уравнения Максвелла для частных случаев электромагнитного поля.
5. Возникновение сил между электромагнитом и элементом из магнитомягкого материала, постоянным магнитом и катушкой с током. Представление однородно намагничённого элемента заряженными поверхностями и поверхностями с током.
6. Расчет параметров магнитных систем на основе анализа электромагнитного поля: потокосцепления, индуктивности, ЭДС.
7. Методы расчетов силовых взаимодействий в магнитном поле: интегрирование по источникам магнитного поля, метод ограничения области взаимодействия, формула Максвелла для пондеромоторной силы, энергетический метод.
8. Метод расчета стационарного магнитного поля в программе *EasyMag3D*.
9. Магнитные свойства материалов: магнитные материалы, абсолютная магнитная проницаемость, удельное магнитное сопротивление, относительная магнитная проницаемость, магнитная восприимчивость, диамагнетизм, идеальный диамагнетизм, парамагнетизм, ферромагнетизм, антиферромагнетизм, ферримагнетизм, температура Кюри, температура Нееля, материальные уравнения, идеальный сверхпроводник.

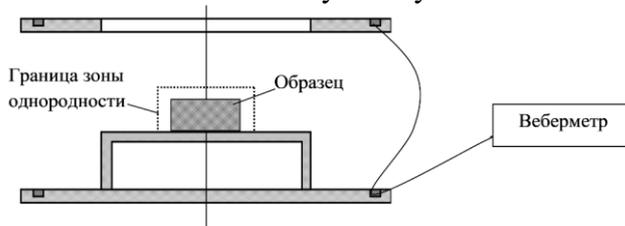
10. Магнитные свойства материалов: кривая намагничивания, магнитное насыщение, магнитный гистерезис, петля магнитного гистерезиса, остаточная магнитная индукция, остаточная намагниченность, предельная остаточная магнитная индукция, коэрцитивная сила, кривая размагничивания, предельная петля гистерезиса, частные симметричные гистерезисные циклы, частные несимметричные гистерезисные циклы, магнитотвёрдый материал, магнитомягкий материал, магнитострикция.

11. Рассчитать зависимость силы, действующей на подвижный элемент, от размера зазора между подвижным элементом и сердечником при заданных параметрах.

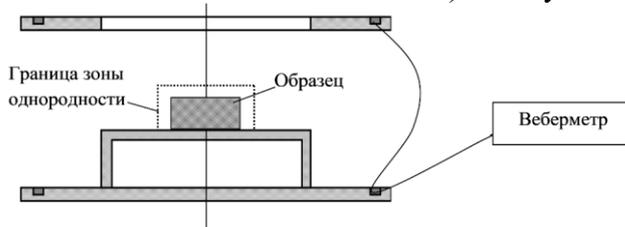
Изменение зазора в пределах 2-8 мм.



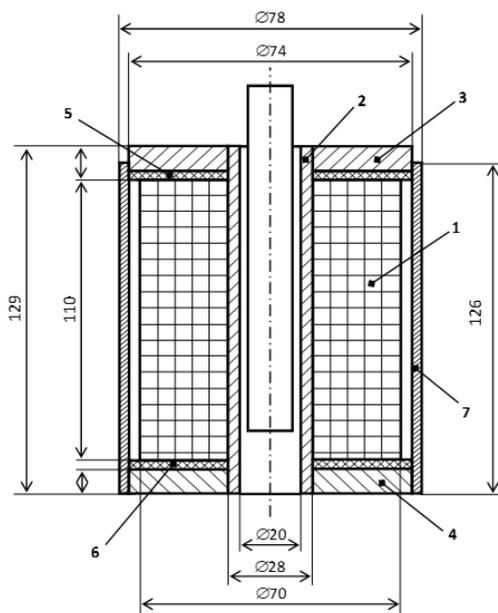
12. Рассчитать постоянную катушек Гельмгольца. Определить зону однородности.



13. Рассчитать магнитный момент цилиндрического ПМ (диаметр 20 мм, высота 10 мм, намагничен по оси  $M=1200$  кА/м) в катушках Гельмгольца.



14. Рассчитать статическую тяговую характеристику электромагнитного подвеса  $Pэ(\delta)$  для тока в катушке соленооида 0,4 А и якоря в виде сплошного цилиндрического стержня с диаметром 17 мм и длиной 110 мм с кожухом.



## II. Описание шкалы оценивания

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

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

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 60

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

Оценка: 3

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

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 за курс выставляется как среднее арифметическое из оценки за текущий контроль и оценки за промежуточную аттестацию

**6 семестр**

**Форма промежуточной аттестации: Экзамен**

**Пример билета**

Вопрос 1.

Вопрос 2.

Задача

## Процедура проведения

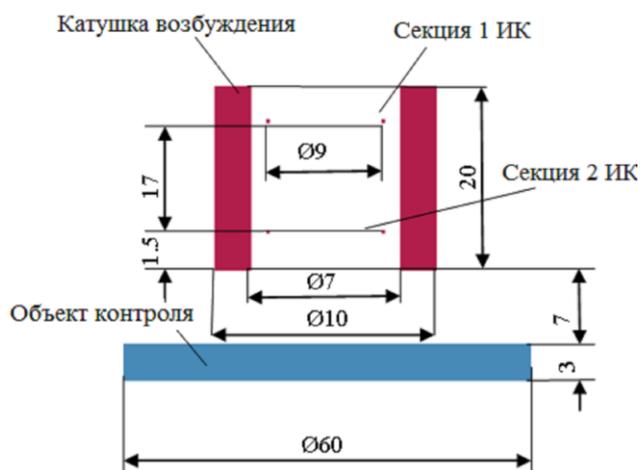
Проводится по билетам в виде подготовки и изложения развернутого ответа. Каждый билет включает в себя один теоретический вопрос и два практических задания на компьютере.

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

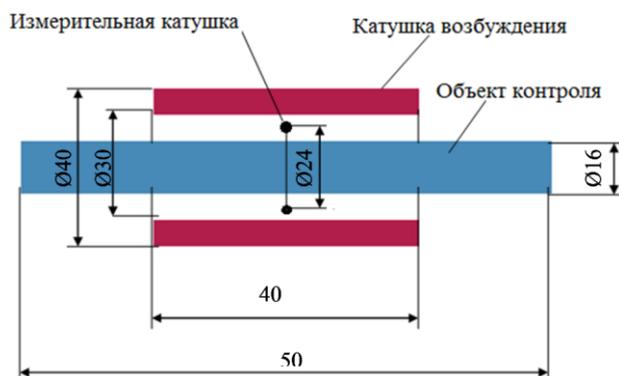
**1. Компетенция/Индикатор:** ИД-1ПК-7 Применяет основные методы, способы и средства получения, хранения, переработки информации, использует компьютер для обработки информации

#### Вопросы, задания

1. Рассчитать параметры накладного датчика для электромагнитного контроля толщины листа.



2. Рассчитать параметры проходного датчика для электромагнитного контроля диаметра стержня.



#### Материалы для проверки остаточных знаний

1. Как связана остаточная магнитная индукция с остаточной намагниченностью (формула)?

Ответы:

1 -  $B_r = \mu_0 M_r$

2 -  $B_r = \mu_0 M_r$

Верный ответ: 1

2. Как вычислить энергию, накопленную электромагнитом при включении на источник постоянного напряжения?

$\Psi_0$  – установившееся потокосцепление,

$I_0$  – установившийся ток.

Ответы:

$$1 - W = \int_0^{\Psi_0} i d\Psi$$

$$2 - W = \int_0^{I_0} \Psi di$$

Верный ответ: 1

3. В статическом электрическом поле напряженность электрического поля  $E$  удовлетворяет какому уравнению?

$J$  – плотность тока

Ответы:

$$1 - \nabla \times E = 0$$

$$2 - \nabla \times E = J$$

Верный ответ: 1

4. Какая формула правильно связывает напряженность электрического поля  $E$  с векторным магнитным  $A$  и скалярным электрическим потенциалом  $\phi_e$  в переменном (квазистационарном) электромагнитном поле?

Ответы:

$$1 - E = -\frac{dA}{dt} - \nabla\phi_e$$

$$2 - E = -\frac{d\phi_e}{dt} - \nabla A$$

Верный ответ: 2

5. Какая формула правильно определяет электрическое напряжение  $U$ ?

Ответы:

$$1 - U = \int_L E dl = - \int_L \left( \frac{dA}{dt} + \nabla\phi_e \right) dl$$

$$2 - U = \int_L \left( E + \frac{dA}{dt} \right) dl$$

Верный ответ: 1

6. В выражении для векторного магнитного потенциала  $A(t) = \frac{\mu_0}{4\pi} \left[ \int_V \frac{J(t) + \nabla \times M(t)}{r} dV - \int_S \frac{n \times M(t)}{r} dS \right]$  переменная  $r$  обозначает...

Ответы:

1 - Расстояние от вектора  $A$  до вектора  $M$ .

2 - Расстояние от точки наблюдения до точки интегрирования.

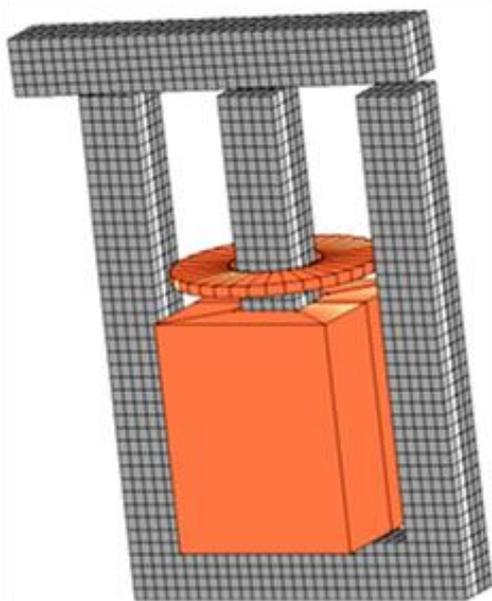
Верный ответ: 2

**2. Компетенция/Индикатор:** ИД-3ПК-7 Разрабатывает упрощенные модели электромеханических преобразователей энергии и протекающих в них процессов

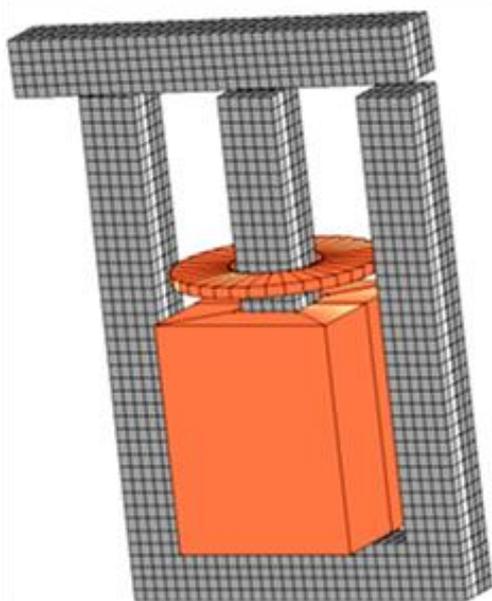
### Вопросы, задания

1. Уравнения Максвелла для квазистационарного электромагнитного поля. Источники квазистационарного электромагнитного поля. Закон электромагнитной индукции при наличии движения.
2. Полная система пространственных интегральных уравнений для источников квазистационарного электромагнитного поля. Общее решение для векторного магнитного потенциала
3. Расчет квазистационарного электромагнитного поля в программном комплексе Easymag 3D
4. Дифференциальные уравнения квазистационарного электромагнитного поля. Расчет квазистационарного электромагнитного поля в программном комплексе FEMM
5. Электромагнитные процессы в электромагнитах. Электромагниты постоянного тока. Макроскопическая модель электромагнита постоянного тока
6. Электромагнитные процессы в электромагнитах. Электромагниты переменного тока с короткозамкнутыми витками. Макроскопическая модель электромагнита переменного тока

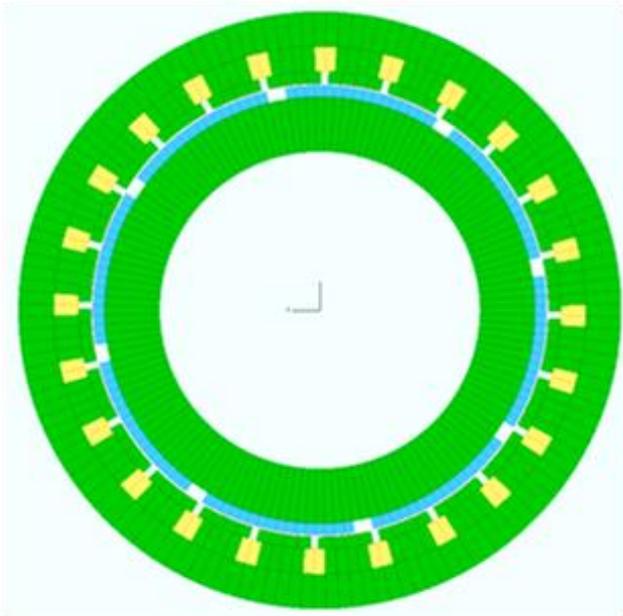
7. Электромагнитные процессы в электрических машинах. Расчет электромагнитного поля и параметров эквивалентных схем машин постоянного тока.
8. Электромагнитные процессы в электрических машинах. Расчет электромагнитного поля и параметров эквивалентных схем асинхронных машин с короткозамкнутым ротором.
9. Электромагнитные процессы в электрических машинах. Расчет электромагнитного поля и параметров эквивалентных схем синхронных машин с обмоткой возбуждения и синхронных машин с постоянными магнитами
10. Электромагнитный контроль изделий из магнитных и электропроводящих материалов
11. Рассчитать ток в катушке и потокосцепление в стержнях электромагнита переменного при наличие экрана на центральном стержне.



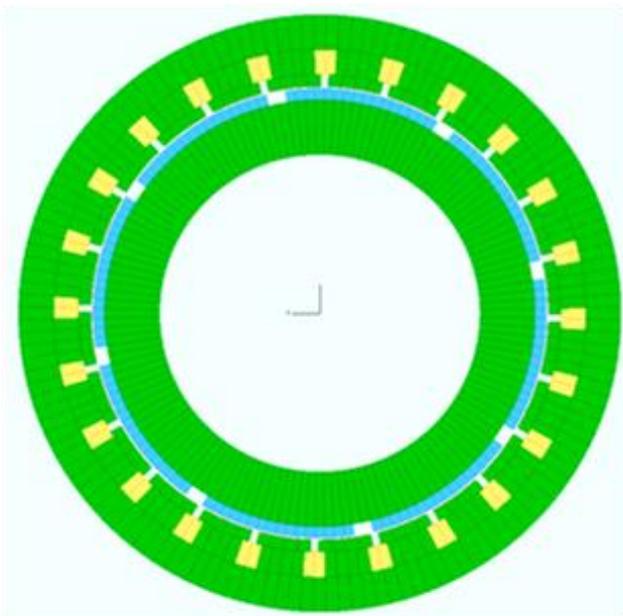
12. Рассчитать ток в катушке и потокосцепление в стержнях электромагнита переменного при отсутствие экрана.



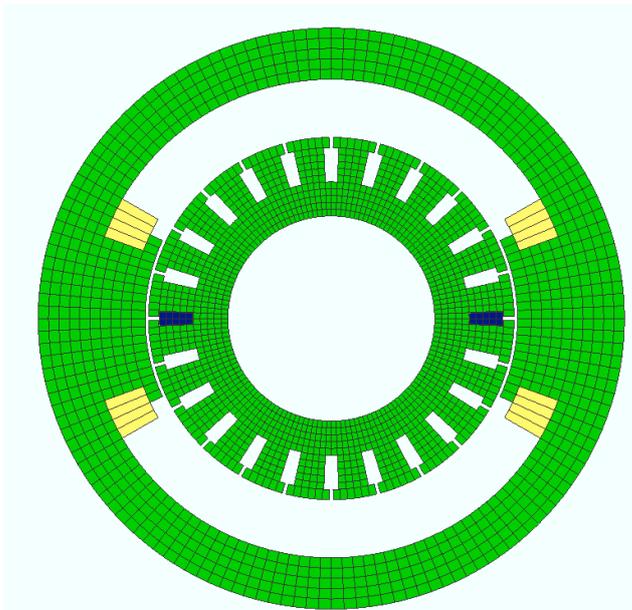
13. Рассчитать ЭДС холостого хода синхронного генератора с постоянными магнитами на роторе.



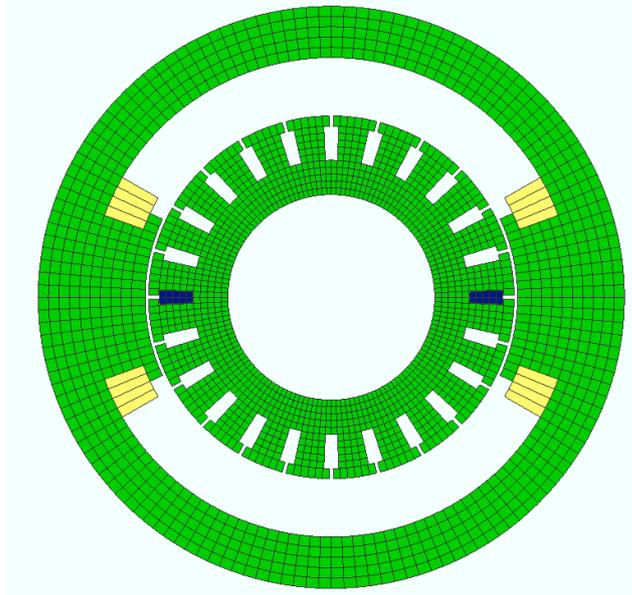
14. Рассчитать электромагнитный момент синхронного генератора с постоянными магнитами на роторе.



15. Рассчитать ЭДС якоря в машине постоянного тока.



16. Рассчитать момент в машине постоянного тока.



### Материалы для проверки остаточных знаний

1. Какие материалы называются магнитными?

Ответы:

1 - у которых в магнитном поле появляется напряженность магнитного поля.

2 - у которых в магнитном поле появляется и изменяется намагниченность.

Верный ответ: 2

2. Может ли коэрцитивная сила по намагниченности быть меньше коэрцитивной силы по напряженности магнитного поля?

Ответы:

1 - да

2 - нет

Верный ответ: 2

3. Как изменится магнитная индукция внутри цилиндрической катушки с током, если поместить внутрь катушки сердечник из магнитомягкого материала?

Ответы:

- 1 - увеличится
- 2 - уменьшится
- 3 - не изменится

Верный ответ: 1

4.Какая результирующая сила будет действовать на виток с током в однородном внешнем магнитном поле?

Ответы:

- 1 - По направлению магнитной индукции внешнего поля.
- 2 - Результирующая сила будет равна нулю.

Верный ответ: 2

5.Почему ток отпускания электромагнита постоянного тока меньше, чем ток срабатывания?

Ответы:

- 1 - Из-за большей силы возвратной пружины якоря.
- 2 - Из-за большей электромагнитной силы при одинаковом токе с меньшим зазором, чем с большим зазором якоря, которая не компенсируется возвратной пружиной с линейными свойствами.

Верный ответ: 2

6.Какие конструктивные особенности сердечника электромагнита переменного тока в сравнении с сердечником электромагнита постоянного тока?

Ответы:

- 1 - У электромагнита постоянного тока сердечник изготавливается шихтованным из листовой электротехнической стали.
- 2 - У электромагнита переменного тока сердечник изготавливается шихтованным из листовой электротехнической стали.

Верный ответ: 2

7.Укажите правильное определение термина "потокосцепление".

Ответы:

- 1 - Потокосцепление — это магнитный поток, умноженный на число витков.
- 2 - Потокосцепление — это криволинейный интеграл векторного магнитного потенциала по длине проводника, с которым определяется потокосцепление.

Верный ответ: 2

8.Что такое тяговая характеристика электромагнита?

Ответы:

- 1 - Зависимость электромагнитной силы от тока при неизменном зазоре.
- 2 - Зависимость электромагнитной силы от зазора при неизменном токе.

Верный ответ: 2

9.Как рассчитать магнитный момент  $m$  намагниченного тела по известному распределению намагниченности?

$V$  – объем тела,  $M$  – намагниченность.

Ответы:

- 1 -  $m = \mu_0 M$
- 2 -  $m = \int_V M dV$

Верный ответ: 2

## **II. Описание шкалы оценивания**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

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

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

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

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*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***

#### **7 семестр**

**Форма промежуточной аттестации:** Зачет с оценкой

#### **Пример билета**

Вопрос по методу зубцовых контуров

Вопрос по методу гармонического анализа

#### **Процедура проведения**

Зачет проводится устно по билетам

#### ***I. Перечень компетенций/индикаторов и контрольных вопросов проверки результатов освоения дисциплины***

**1. Компетенция/Индикатор:** ИД-1<sub>ПК-7</sub> Применяет основные методы, способы и средства получения, хранения, переработки информации, использует компьютер для обработки информации

#### **Вопросы, задания**

1. Учет продольной неоднородности при анализе поля (переход к анализу двухмерного поля).
2. Конформные преобразования – назначение, возможности (на примере логарифмического преобразования).
3. Преобразование Шварца-Кристоффеля: аналитическое выражение, особые точки (на примере поля тока).
4. Магнитное поле в зазоре электрической машины: четное и нечетное поле, граничные условия.
5. Принципы создания эквивалентной схемы замещения магнитной цепи (на примере машины постоянного тока).
6. Магнитное поле зубцового контура: четное и нечетное поле, магнитная проводимость зазора для потока ЗК при ОГУ.
7. Магнитное поле зубцового контура: особые граничные условия, проводимости для потоков и потокосцеплений взаимной индукции зубцовых контуров.
8. Схема замещения магнитной цепи ненасыщенной электрической машины: принципы создания, топология, параметры ветвей.

9. Матрица структуры обмотки: назначение, правила составления, примеры.
10. Способы определения токов зубцовых контуров.
11. Определение потока зубца по схеме замещения, расчет потоков зубцов ненасыщенной электрической машины.
12. Определение потокосцеплений ветвей обмоток через токи зубцовых контуров, через токи ветвей.
13. Матрица индуктивностей для ненасыщенной электрической машины. Зависимость индуктивностей ветвей от взаимного положения сердечников.

### Материалы для проверки остаточных знаний

1. Что такое зубцовый контур?

Ответы:

1. Контур замыкания силовой линии магнитного поля зубца
2. Катушка сосредоточенной обмотки, намотанной вокруг одного зубца
3. Одновитковый электрический контур, замыкающийся вокруг зубца

Верный ответ: 3

2. Укажите правильное число витков в зубцовом контуре

Ответы:

1. Ноль
2. Один
3. Два
4. Равно числу витков в катушке реальной обмотки
5. Равно числу витков в пазу реальной машины

Верный ответ: 2

3. Что моделирует четное поле в зазоре под пазом электрической машины?

Ответы:

1. поле от тока в этом пазу
2. поле от токов в других пазах, кроме этого
3. поле от всех токов во всех пазах

Верный ответ: 2

4. Что моделирует нечетное поле в зазоре под пазом электрической машины?

Ответы:

1. поле от тока в этом пазу
2. поле от тока в других пазах, кроме этого
  1. поле от всех токов во всех пазах

Верный ответ: 1

**2. Компетенция/Индикатор:** ИД-3<sub>ПК-7</sub> Разрабатывает упрощенные модели электромеханических преобразователей энергии и протекающих в них процессов

### Вопросы, задания

1. Основы метода зубцовых контуров: его назначение, этапы расчета, результаты.
2. Уравнение напряжений, баланс мощности, электромагнитный момент.
3. Способы определения энергии магнитного поля электрической машины.
4. Определение гармоник МДС фазы простой обмотки с  $q=1$  через гармоники МДС зубцовых контуров, коэффициент укорочения.

5. Гармоника индукции фазы простой обмотки с  $q=1$ : способы определения.
6. Определение гармоник МДС фазы простой обмотки с  $q>1$  через гармоники МДС элементарных фаз, коэффициент распределения.
7. Определение гармоник результирующей МДС простой многофазной обмотки через гармоники МДС фаз, гармонический состав МДС простой многофазной обмотки.
8. Гармонический состав поля сложной многофазной обмотки, классификация высших гармонических.
9. Потокосцепление и ЭДС катушки, катушечной группы и фазы при синусоидальной индукции магнитного поля.
10. Высшие гармонические ЭДС фазы от пространственных гармоник обмотки якоря и гармоник обмотки возбуждения.
11. Главная индуктивность фазы, главная индуктивность трехфазной обмотки для токов прямой последовательности, для токов нулевой последовательности.
12. Индуктивность фазы для  $n$  гармоники, индуктивность обмотки для  $n$  гармоники для токов прямой последовательности, для токов нулевой последовательности.
13. Поле рассеяния электрической машины, индуктивность рассеяния обмотки, способы ее расчета.
14. Индуктивное сопротивление дифференциального рассеяния трехфазной обмотки с учетом демпфирования.

### Материалы для проверки остаточных знаний

1. Какие токи участвуют в образовании электромагнитного момента?

Ответы:

1. токи обмотки статора
2. токи обмотки ротора
3. токи всех обмоток

Верный ответ: 3

2. По какому признаку выделяют главное поле электрической машины?

Ответы:

1. магнитное поле от токов статора
2. магнитное поле от токов ротора
3. полное магнитное поле от токов статора и ротора
4. основная гармоническая поля от токов статора и ротора
5. 95% от полного магнитного поля от токов статора и ротора

Верный ответ: 4

3. Чем определяется главная индуктивность фазы?

Ответы:

1. главным потокосцеплением фазы от тока этой фазы
2. главным потокосцеплением фазы с учетом влияния токов всех фаз обмотки
3. полным потокосцеплением фазы от тока этой фазы
4. полным потокосцеплением фазы с учетом влияния токов всех фаз обмотки

Верный ответ: 1

4. Чем определяется главная индуктивность обмотки?

Ответы:

1. главным потокосцеплением фазы от тока этой фазы
2. главным потокосцеплением фазы с учетом влияния токов всех фаз обмотки

3. полным потокосцеплением фазы от тока этой фазы
4. полным потокосцеплением фазы с учетом влияния токов всех фаз обмотки

Верный ответ: 2

5. Какие гармоники называются “зубцовыми”?

Ответы:

1. гармоники, сопутствующие основной гармонике
2. гармоники, порядок которых равен числу зубцов статора
3. гармоники, порядок которых равен числу зубцов ротора
4. “волнистые” гармоники, имеющие зубчатый вид

Верный ответ: 1

6. Что относят к полям рассеяния во вращающихся электрических машинах?

Ответы:

1. поле в пазу
2. поле в лобовых частях
3. основная гармоника поля в зазоре
4. все высшие гармоники поля в зазоре
5. зубцовые гармоники поля в зазоре
6. остаточное магнитное поле за пределами корпуса

Верный ответ: 1, 2, 4

## **II. Описание шкалы оценивания**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

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

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

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

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*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**