

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

**Направление подготовки/специальность: 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника**

**Наименование образовательной программы: Электрические аппараты управления и распределения энергии**

**Уровень образования: высшее образование - магистратура**

**Форма обучения: Очная**

**Оценочные материалы  
по дисциплине  
Расчет и проектирование магнитных систем электротехнических  
устройств**

**Москва  
2022**

## ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Преподаватель

(должность)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Курбатов П.А.
	Идентификатор	R1a0c0ffa-KurbatovPA-23b01cca

(подпись)

П.А.  
Курбатов

(расшифровка  
подписи)

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной  
программы

(должность, ученая степень, ученое  
звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Курбатов П.А.
	Идентификатор	R1a0c0ffa-KurbatovPA-23b01cca

(подпись)

П.А.  
Курбатов

(расшифровка  
подписи)

Заведующий  
выпускающей кафедры

(должность, ученая степень, ученое  
звание)

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

(подпись)

М.Г.  
Киселев

(расшифровка  
подписи)

## ОБЩАЯ ЧАСТЬ

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

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

Формируемые у обучающегося компетенции:

1. ПК-2 Способен по результатам исследований выбирать и проектировать новые эффективные технические решения в области профессиональной деятельности

ИД-3 Владеет методами проектирования электротехнических объектов и их элементов

и включает:

**для текущего контроля успеваемости:**

Форма реализации: Компьютерное задание

1. Магнитоэлектрический преобразователь (Контрольная работа)
2. Расчет магнитной муфты с постоянными магнитами (Контрольная работа)
3. Расчет магнитной системы электромеханического преобразователя электродинамического типа (Контрольная работа)
4. Электромагнит контактора постоянного тока (Контрольная работа)

## БРС дисциплины

2 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %				
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
	Срок КМ:	4	8	12	16
Методы и программные средства для расчетов и оптимизационного проектирования магнитных систем. Моделирование конструкций магнитных систем и электрофизических свойств материалов при расчетах электромагнитных полей					
Методы и программные средства для расчетов и оптимизационного проектирования магнитных систем. Моделирование конструкций магнитных систем и электрофизических свойств материалов при расчетах электромагнитных полей	+				
Макроскопические модели основных типов электромеханических преобразователей энергии, использующих электромагнитные поля					
Макроскопические модели основных типов электромеханических преобразователей энергии, использующих электромагнитные поля		+	+		
Расчет магнитных систем электрических машин, приводов и функциональных элементов электрических аппаратов					
Расчет магнитных систем электрических машин, приводов и функциональных элементов электрических аппаратов		+	+		

Расчет магнитных систем удерживающих устройств, исполнительных механизмов средств автоматизации, источников магнитного поля, электромагнитных накопителей энергии, магнитных систем для исследований, испытаний и контроля материалов и изделий				
Расчет магнитных систем удерживающих устройств, исполнительных механизмов средств автоматизации, источников магнитного поля, электромагнитных накопителей энергии, магнитных систем для исследований, испытаний и контроля материалов и изделий				+
Вес КМ:	25	25	25	25

\$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-2	ИД-3ПК-2 Владеет методами проектирования электротехнических объектов и их элементов	<p>Знать:</p> <p>методы и средства для анализа, расчетов и проектирования магнитных систем электротехнических устройств</p> <p>принцип действия и конструкции магнитных систем электротехнических устройств</p> <p>Уметь:</p> <p>применять методы и программные средства для расчетов и проектирования магнитных систем электротехнических устройств</p> <p>проводить анализ параметров и моделирование работы электротехнических устройств с магнитными системами различных</p>	<p>Магнитоэлектрический преобразователь (Контрольная работа)</p> <p>Электромагнит контактора постоянного тока (Контрольная работа)</p> <p>Расчет магнитной системы электромеханического преобразователя электродинамического типа (Контрольная работа)</p> <p>Расчет магнитной муфты с постоянными магнитами (Контрольная работа)</p>

		ТИПОВ	
--	--	-------	--

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

### КМ-1. Магнитоэлектрический преобразователь

**Формы реализации:** Компьютерное задание

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 25

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

#### Краткое содержание задания:

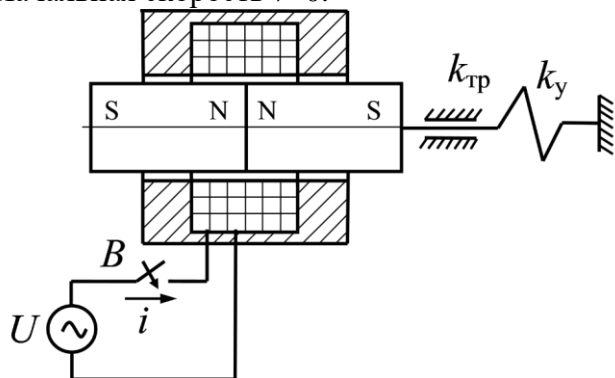
Рассчитать и построить зависимости тока  $i$ , электромагнитной силы  $F_{эм}$  и перемещения  $x$  от времени в магнитоэлектрическом преобразователе при его подключении к источнику питания с напряжением  $U$  и частотой  $f$ , а также АЧХ и ФЧХ тока  $i$  преобразователя.

#### Начальные условия

Начальное положение постоянных магнитов симметричное.

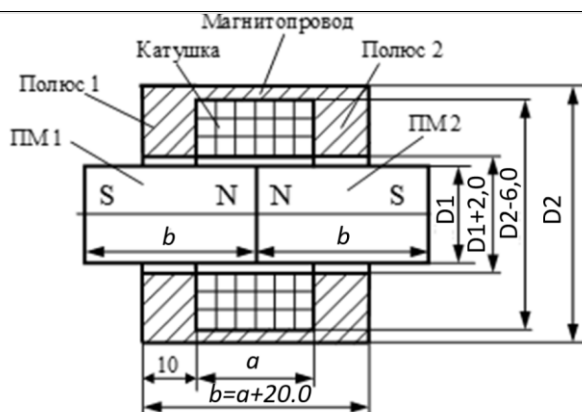
Сила начального поджатия пружины равна нулю.

Начальная скорость  $v=0$ .



#### Контрольные вопросы/задания:

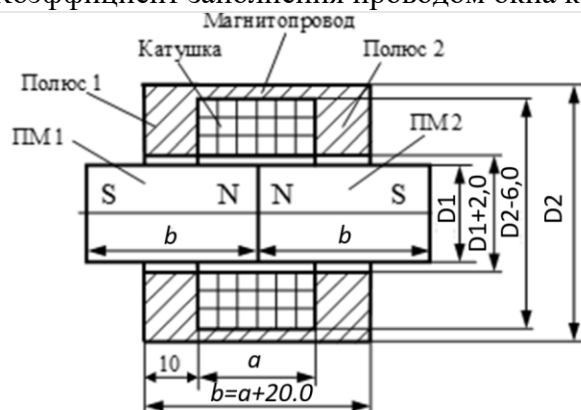
Знать: методы и средства для анализа, расчетов и проектирования магнитных систем электротехнических устройств



1. Построить модели магнитоэлектрического преобразователя в специализированном ПО.  
Коэффициент заполнения проводом окна катушки 0.5  
Число витков катушки  $N=4000$   
Материал магнитопровода -сталь 10.  
Намагниченность постоянных магнитов 1000 кА/м  
 $U=220$  В

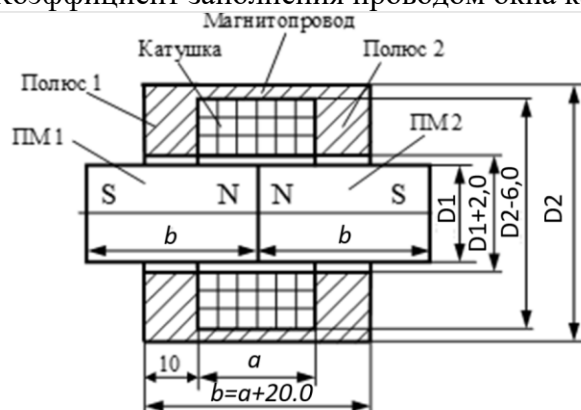
$f=50$  Гц  
 $D1=20$  мм  
 $D2=44$  мм  
 $a=20$  мм

2. Построить модели магнитоэлектрического преобразователя в специализированном ПО.  
 Коэффициент заполнения проводом окна катушки 0.5



Число витков катушки  $N=4000$   
 Материал магнитопровода - сталь 10.  
 Намагниченность постоянных магнитов 1000 кА/м  
 $U=120$  В  
 $f=25$  Гц  
 $D1=18$  мм  
 $D2=42$  мм  
 $a=18$  мм

3. Построить модели магнитоэлектрического преобразователя в специализированном ПО.  
 Коэффициент заполнения проводом окна катушки 0.5



Число витков катушки  $N=4000$   
 Материал магнитопровода - сталь 10.  
 Намагниченность постоянных магнитов 1000 кА/м  
 $U=220$  В  
 $f=40$  Гц  
 $D1=28$  мм  
 $D2=52$  мм  
 $a=28$  мм

Описание шкалы оценивания:



Оценка: 5

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

Оценка: 4

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

Оценка: 3

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

## КМ-2. Электромагнит контактора постоянного тока

**Формы реализации:** Компьютерное задание

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 25

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

### Краткое содержание задания:

Построить модель электромагнита постоянного тока. Рассчитать обмоточные данные электромагнита (число витков, сечение провода) контактора постоянного тока для создания требуемой тяговой характеристики

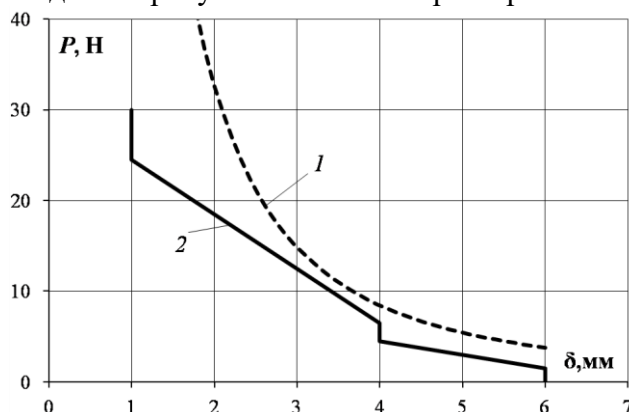
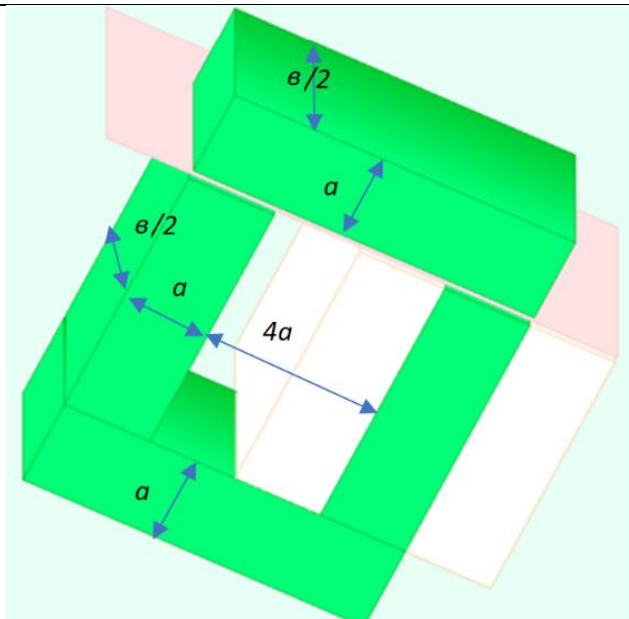


Figure 1 Тяговая 1 и механическая 2 характеристики

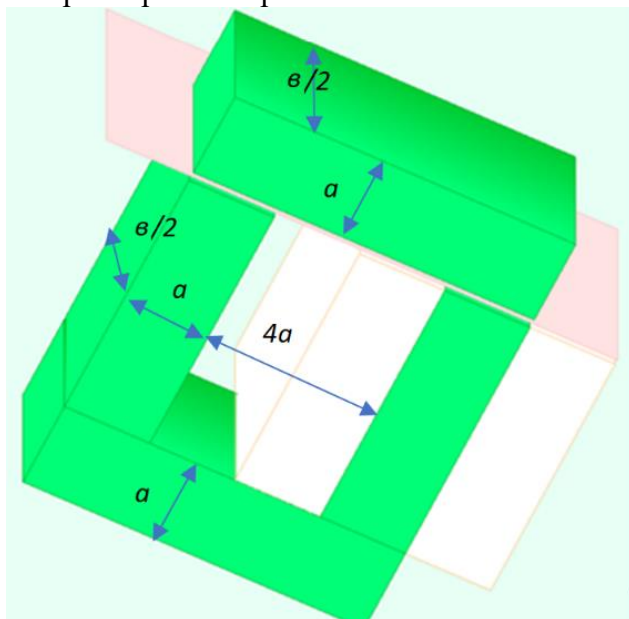
### Контрольные вопросы/задания:

Уметь: применять методы и программные средства для расчетов и проектирования магнитных систем электротехнических устройств	1. Параметры электромагнита
--	-----------------------------



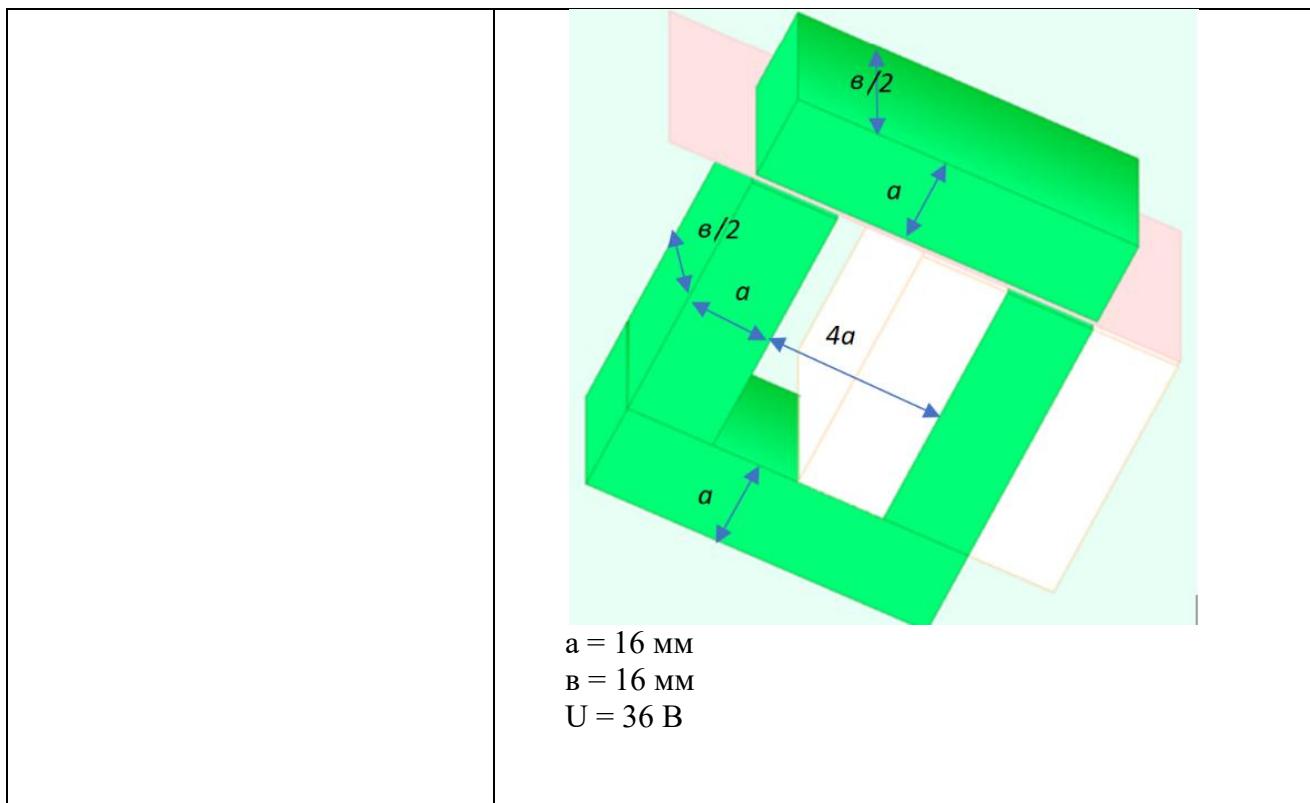
$a = 12 \text{ мм}$   
 $v = 22 \text{ мм}$   
 $U = 24 \text{ В}$

## 2. Параметры электромагнита



$a = 8 \text{ мм}$   
 $v = 46 \text{ мм}$   
 $U = 110 \text{ В}$

## 3. Параметры электромагнита



**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

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

*Оценка: 4*

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

*Оценка: 3*

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

**КМ-3. Расчет магнитной системы электромеханического преобразователя  
электродинамического типа**

**Формы реализации:** Компьютерное задание

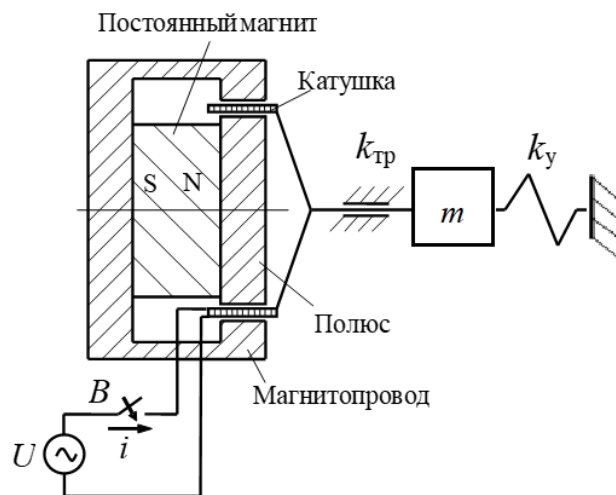
**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 25

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

**Краткое содержание задания:**

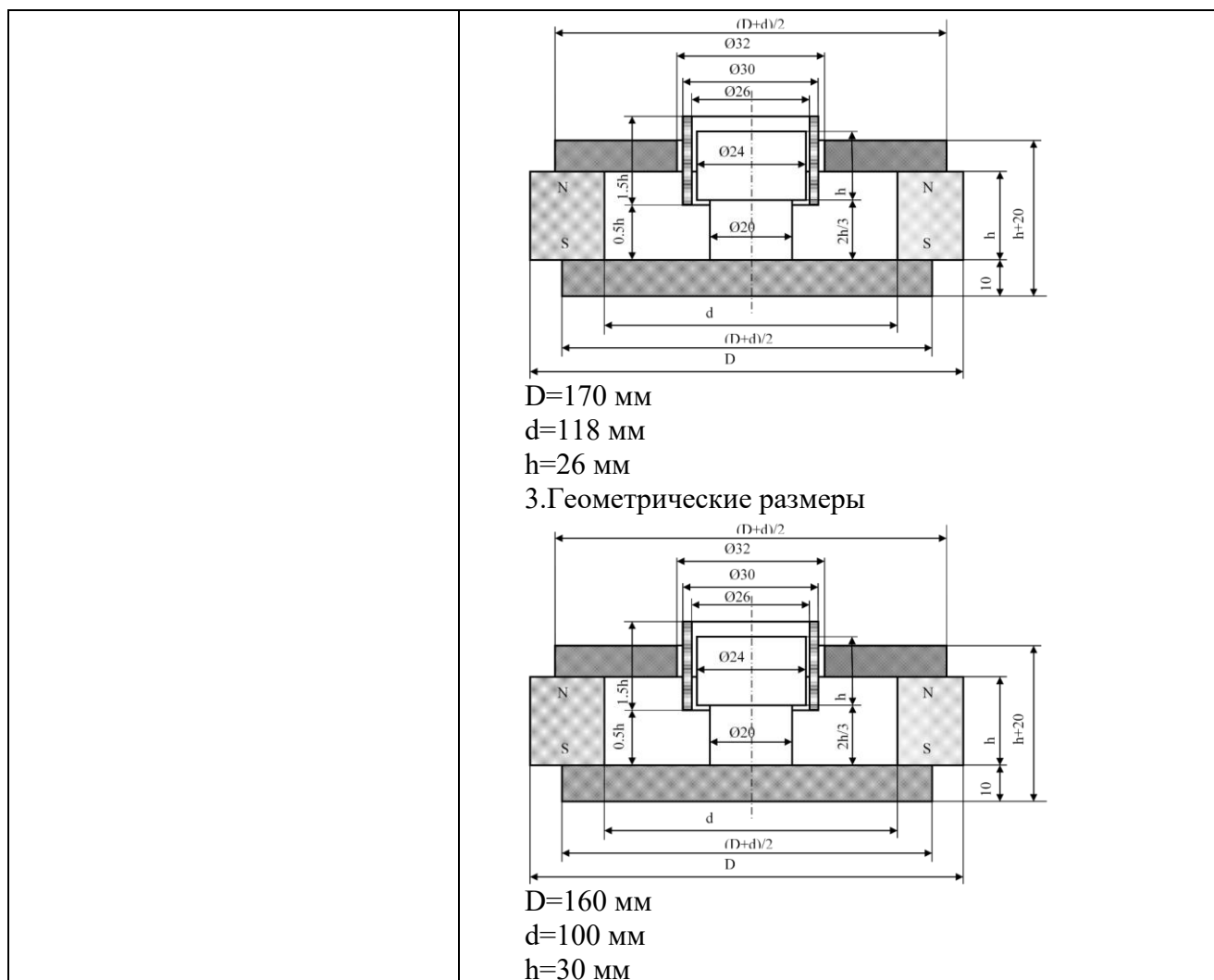
Рассчитать и построить зависимости амплитуды колебаний массы от частоты для электромеханического преобразователя, представленного на рисунке 1. Диапазон исследуемых частот  $\Delta f = f_{рез} \pm 20\% f_{рез}$



- Материал постоянного магнита магнитотвердый феррит - 28СА250
- Детали полюсов из магнитомягкого материала - АРМКО
- Центральный полюс из материала 27КХ
- Амплитуда напряжения питания  $U_m = 15 \text{ В}$
- Масса катушки со штоком и дополнительной массой  $m$  равна  $0,01 \text{ кг}$ .
- Коэффициент вязкого трения  $K_{тр} = 1,6 \text{ кг/с}$
- Жесткость пружины  $K_y = 160 \text{ Н/м}$
- Катушка выполнена из медного провода с числом витков  $N = 2500$
- Коэффициент заполнения сечения окна катушки  $K_z = 0,6$

**Контрольные вопросы/задания:**

<p>Знать: принцип действия и конструкции магнитных систем электротехнических устройств</p>	<p>1. Объяснить принцип работы электромеханического преобразователя электродинамического типа 2. Рассчитать резонансную частоту в механической подсистеме электромеханическом преобразователе</p>
<p>Уметь: применять методы и программные средства для расчетов и проектирования магнитных систем электротехнических устройств</p>	<p>1. Геометрические размеры</p>  <p><math>D = 160 \text{ мм}</math>  <math>d = 100 \text{ мм}</math>  <math>h = 30 \text{ мм}</math></p> <p>2. Геометрические размеры</p>



**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

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

*Оценка: 4*

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

*Оценка: 3*

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

**КМ-4. Расчет магнитной муфты с постоянными магнитами**

**Формы реализации:** Компьютерное задание

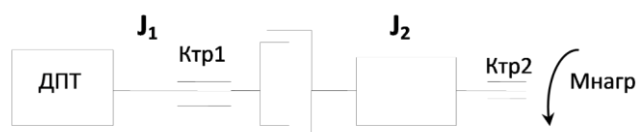
**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 25

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

**Краткое содержание задания:**

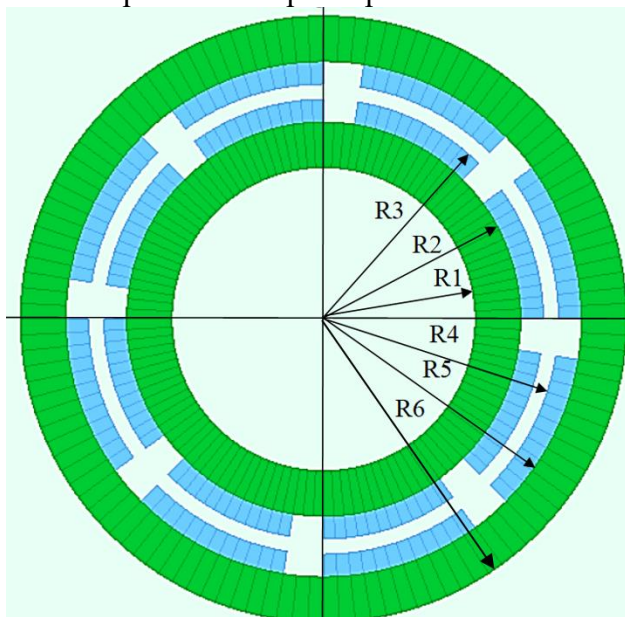
Рассчитать процесс запуска механизма: двигатель постоянного тока, магнитная муфта, нагрузка. Построить зависимости от времени скоростей ведущей и ведомой частей механизма.



**Контрольные вопросы/задания:**

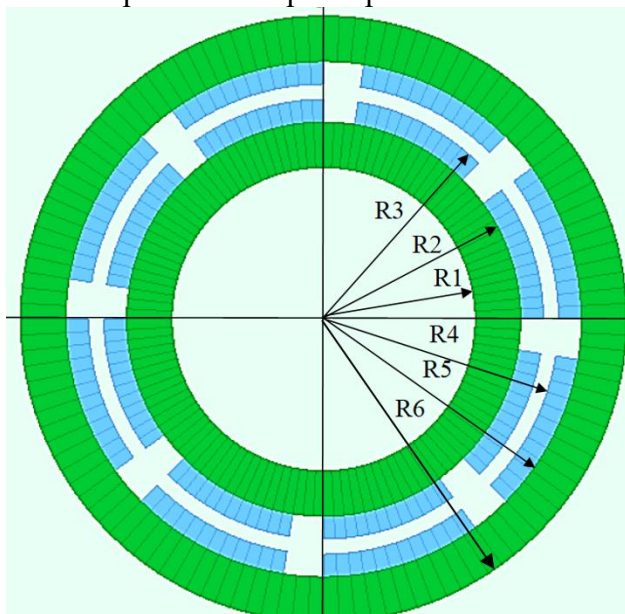
Уметь: проводить анализ параметров и моделирование работы электротехнических устройств с магнитными системами различных типов

1. Геометрические параметры



- R1=20 мм
- R2=26 мм
- R3=29 мм
- R4=31 мм
- R5=34 мм
- R6=40 мм
- h=30 мм

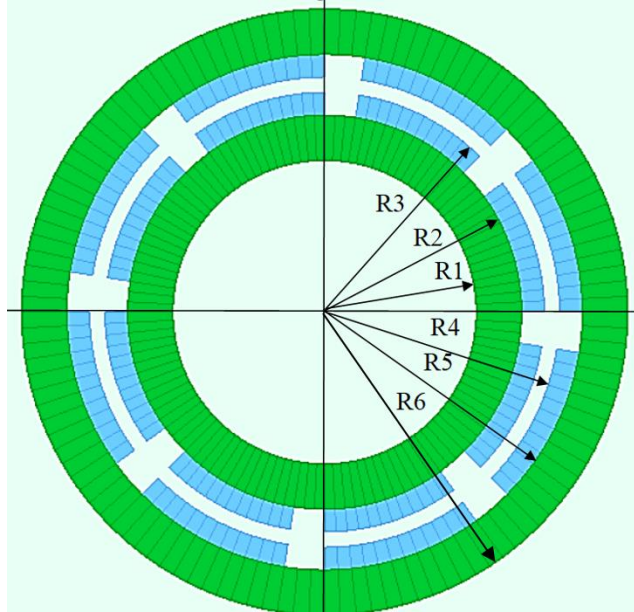
2. Геометрические параметры



- R1=25 мм

R2=33 мм  
R3=36.5 мм  
R4=38.5 мм  
R5=42 мм  
R6=50 мм  
h=36 мм

### 3. Геометрические параметры



R1=30 мм  
R2=40 мм  
R3=44 мм  
R4=46 мм  
R5=50 мм  
R6=60 мм  
h=44 мм

### Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

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

Оценка: 4

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

Оценка: 3

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

# СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

## 2 семестр

**Форма промежуточной аттестации:** Экзамен

### Пример билета

1. Электромеханический преобразователь электромагнитного типа. Модель электромеханического преобразователя электромагнитного типа. Основные допущения. Расчет параметров модели с помощью анализа магнитного поля. Анализ процессов в электромеханическом преобразователе электромагнитного типа.
2. Электрическая машина с постоянными магнитами. Модель электрической машины, основные допущения. Расчет параметров модели с помощью анализа магнитного поля. Анализ работы электрической машины.

### Процедура проведения

Проводится по билетам в виде подготовки и изложения развернутого ответа. Ответы включают моделирование на компьютерах в специализированном ПО.

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

**1. Компетенция/Индикатор:** ИД-ЗПК-2 Владеет методами проектирования электротехнических объектов и их элементов

### Вопросы, задания

1. Расчет электромагнитного дросселя в фильтре выпрямителя. Эквивалентная схема выпрямителя. Расчет вебер-амперной характеристики с помощью анализа магнитного поля. Анализ процессов в выпрямителе.
2. Расчет электромеханических преобразователей электродинамического типа. Эквивалентные схемы электромеханического преобразователя, основные допущения. Модель электромеханической системы преобразователя. Расчет параметров модели с помощью анализа магнитного поля. Анализ динамики работы преобразователя.
3. Электромеханический преобразователь электромагнитного типа. Модель электромеханического преобразователя электромагнитного типа. Основные допущения. Расчет параметров модели с помощью анализа магнитного поля. Анализ процессов в электромеханическом преобразователе электромагнитного типа.
4. Трансформатор тока. Модель трансформатора, основные допущения. Расчет параметров модели с помощью анализа магнитного поля. Анализ работы трансформатора.
5. Контактور постоянного тока. Модель контактора с электромагнитным приводом при применении численного анализа электромагнитного поля. Основные допущения. Расчет параметров модели с помощью анализа магнитного поля. Исследование статической механической характеристики контактора. Расчет тяговой характеристики электромагнита. Анализ динамики работы контактора с электромагнитом постоянного тока.
6. Магнитные муфты с постоянными магнитами. Модель магнитной муфты в программной среде, основные допущения. Расчет параметров модели с помощью анализа магнитного поля. Анализ работы магнитной муфты в системе двигатель-муфта-вентилятор.



7. Расчет электромагнита переменного тока. Модель электромеханической системы контактора с электромагнитом переменного тока. Эквивалентная схема магнитной подсистемы электромагнита переменного тока с КЗ витком. Расчет и сопоставление тяговых и статических механических характеристик электромагнитов постоянного тока и переменного тока. Анализ динамики работы контактора с электромагнитом переменного тока.

8. Электрическая машина с постоянными магнитами. Модель электрической машины, основные допущения. Расчет параметров модели с помощью анализа магнитного поля. Анализ работы электрической машины.

9. Расчет электромеханических преобразователей магнитоэлектрического типа. Эквивалентные схемы электромеханического преобразователя, основные допущения. Модель электромеханической системы преобразователя. Расчет параметров модели с помощью анализа магнитного поля. Анализ динамики работы преобразователя.

### Материалы для проверки остаточных знаний

1. Напишите систему уравнений Максвелла для стационарного магнитного поля.

Ответы:

$$1. \nabla \cdot B = 0, \nabla \times H = J, B = \mu_r \mu_0 H = \mu_0 (H + M)$$

$$2. \nabla \cdot H = 0, \nabla \times B = J, B = \mu_r \mu_0 H = \mu_0 (H + M)$$

$$3. \nabla \cdot B = J, \nabla \times H = 0, B = \mu_r \mu_0 H = \mu_0 (H + M)$$

Верный ответ: 1

2. Какие условия справедливы для вихревой и потенциальной составляющих напряженности стационарного магнитного поля?

Ответы:

$$1. H^B = \nabla \times \phi_1, H^П = -\nabla A_1$$

$$2. H^П = \nabla \times A_1, H^B = -\nabla \phi$$

$$3. H^B = \nabla \times A_1, H^П = -\nabla \phi$$

Верный ответ: 3

3. Как представить модель однородно намагниченного объема  $V$  с поверхностью  $S$  для расчета напряженности магнитного поля в виде распределенных фиктивных магнитных зарядов?

Ответы:

1. в объеме будет однородное распределение зарядов с плотностью равной намагниченности.

2. на поверхности будет однородное распределение зарядов с плотностью равной намагниченности.

3. на поверхности будет распределение зарядов с плотностью равной нормальной компоненте намагниченности.

Верный ответ: 3

4. Как определить ЭДС в катушке, вызванную протекающим в ней переменным током?

Ответы:

1. Необходимо вычислить собственное потокоцепление катушки и взять производную по времени с отрицательным знаком.

2. Необходимо вычислить магнитную индукцию в катушке и взять производную по времени с отрицательным знаком

3. Необходимо вычислить собственное потокоцепление катушки и взять производную по времени с положительным знаком.

Верный ответ: 1

5. Напишите формулу Максвелла для расчета сил с использованием разделяющей поверхности.

Ответы:

$$1. P = \mu_0 \int [(nB)B - 0.5nB^2] dS$$

$$2. P = \mu_0 \int [(nH)H - 0.5nH^2] dS$$

$$3. P = \int [(nH)H - 0.5nH^2] dS$$

Верный ответ: 2

6. Основные допущения, эквивалентные схемы и расчет параметров преобразователей магнитоэлектрического типа

Ответы:

1. в условиях, когда магнитопровод и полюса не находятся в состоянии глубокого насыщения, можно принять относительную магнитную проницаемость постоянной, намагниченность высококоэрцитивных постоянных магнитов практически неизменной; вихревые токи в проводящих элементах конструкции и магнитный гистерезис материала сердечника отсутствуют.

2. можно принять относительную магнитную проницаемость постоянной, намагниченность высококоэрцитивных постоянных магнитов практически неизменной.

3. в условиях, когда магнитопровод и полюса не находятся в состоянии глубокого насыщения, можно принять относительную магнитную проницаемость постоянной

Верный ответ: 1

7. Основные допущения, эквивалентные схемы и расчет параметров преобразователей электродинамического типа

Ответы:

1. потокосцепление катушки, созданное постоянным магнитом, зависит только от положения катушки и не зависит от тока в ней; потокосцепление от собственного тока катушки пропорционально току и должно быть рассчитано с учетом состояния магнитной системы с постоянным магнитом

2. потокосцепление катушки, созданное постоянным магнитом, не зависит от положения катушки и не зависит от тока в ней

3. потокосцепление катушки, созданное постоянным магнитом, не зависит только от положения катушки и зависит от тока в ней

Верный ответ: 1

8. Дайте общую формулировку задачи оптимизации конструкции магнитных систем

Ответы:

1. Найти экстремум глобального критерия качества магнитной системы при функциональных ограничениях (ограничениях второго рода)

- требования по назначению, и ограничения первого рода

- допустимая область изменения варьируемых переменных.

2. Найти экстремум глобального критерия качества магнитной системы при функциональных ограничениях (ограничениях второго рода)

- требования по назначению.

3. Найти экстремум функциональных ограничений (ограничениях второго рода)

- требования по назначению, при ограничениях первого рода

- допустимая область изменения варьируемых переменных.

Верный ответ: 1

9. Укажите цель применения методов планирования эксперимента при решении оптимизационных задач магнитных систем.

Ответы:

1. Методы планирования эксперимента применяются для построения аппроксимирующих функций функциональных ограничений и имеет целью снижения объема вычислений.

2. Методы планирования эксперимента применяются для построения аппроксимирующих функций критериев качества и имеет целью снижения объема вычислений.

3. Методы планирования эксперимента применяются для построения аппроксимирующих функций допустимой области изменения переменных.

Верный ответ: 1

10. Какие физические подсистемы определяют электромагнитный момент электрической машины?

Ответы:

1. Электрическая, магнитная, механическая, тепловая.
2. Электрическая, механическая, тепловая.
3. Электрическая, магнитная, механическая.

Верный ответ: 1

## ***II. Описание шкалы оценивания***

*Оценка: 5*

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

*Оценка: 4*

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

*Оценка: 3*

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

## ***III. Правила выставления итоговой оценки по курсу***