

**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, электрические и электронные аппараты

Уровень образования: высшее образование - бакалавриат

Форма обучения: Очная

**Оценочные материалы
по дисциплине
Методы анализа электрических машин**

**Москва
2023**

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Разработчик

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

С.В.
Ширинский

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель
образовательной
программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Кузнецова Е.А.
	Идентификатор	Re7bf1ad9-KuznetsovaYA-c9331b9

Е.А.
Кузнецова

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-4 Способен принимать участие в проектировании, анализировать конкурентоспособные варианты технических решений и обосновывать выбор целесообразных проектных решений в соответствии с требованиями технического задания в области электрических машин и аппаратов

ИД-5 Применяет приближенные методы расчета и выбора основных элементов электрических машин и аппаратов

и включает:

для текущего контроля успеваемости:

Форма реализации: Письменная работа

1. Преобразование энергии в электрических машинах (Контрольная работа)
2. Структура обмотки (Контрольная работа)

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)

БРС дисциплины

7 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %					
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5
	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-4	ИД-5ПК-4 Использует приближенные методы расчета и выбора основных элементов электрических машин и аппаратов	Знать: аналитические и численные методы расчета магнитного поля в электрической машине основы электромеханического преобразования энергии Уметь: использовать методы расчетов магнитных полей для анализа магнитного состояния электрической машины применять аналитические и численные методы расчета для анализа процессов электромеханического преобразования энергии	Элементарные магнитные поля в электрических машинах (Домашнее задание) Структура обмотки (Контрольная работа) Преобразование энергии в электрических машинах (Контрольная работа) Схема обмотки, кривая МДС и гармонический состав поля (Расчетно-графическая работа) Индуктивности обмоток (Расчетно-графическая работа)

II. Содержание оценочных средств. Шкала и критерии оценивания

КМ-1. 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 численные методы расчета магнитного поля в электрической машине	1.Каковы граничные условия для четного поля в 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-2. 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?
Уметь: использовать методы расчетов магнитных полей для анализа магнитного состояния электрической машины	1.Составить матрицу структуры для сложной двухслойной обмотки, расположенной на сердечнике 1. Обмотка имеет следующие данные: $m_1=3$, $2p=4$, $q_1=3$, $y=7$, $W_k=5$ 2.Составить матрицу структуры для простой двухслойной обмотки, расположенной на сердечнике 1. Обмотка имеет следующие данные: $m_1=5$, $2p=2$, $q_1=3$, $y=6$, $W_k=5$ 3.Составить схему сложной многофазной двухслойной обмотки, имеющей следующие данные: $m_1=3$, $2p=4$, $q_1=3$, $y=7$ 4.Для трехфазной сложной двухслойной обмотки, расположенной на сердечнике 1 ($2p=2$, $q_1=1$, $y=2$, $W_k=5$), задавшись током в первом зубцовом контуре $i_1'=0$, найти с точностью до постоянной токи всех зубцовых контуров сердечника 1 при токах в ветвях обмотки, имеющих следующие значения: $i_{v1} = 10A$, $i_{v2} = -5A$, $i_{v3} = -5A$. Дана матрица структуры обмотки. 5.Для трехфазной сложной двухслойной обмотки, расположенной на сердечнике 1 ($2p=2$, $q_1=1$, $y=2$, $W_k=5$), найти матрицу $[F_1]$ и определить с ее помощью полные токи зубцовых контуров сердечника 1 при токах в ветвях обмотки, имеющих следующие значения: $i_{v1} = 10A$, $i_{v2} = -5A$, $i_{v3} = -5A$. Дана матрица $[F_1']$. 6.Для трехфазной сложной двухслойной обмотки, расположенной на сердечнике 1 ($2p=2$, $q_1=1$, $y=2$, $W_k=3$), составить матрицу преобразования потокосцеплений зубцовых контуров в потокосцепления ветвей $[c_1]$. Дана матрица

	преобразования токов ветвей к токам зубцовых контуров с точностью до постоянной $[F1']$.
--	---

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. 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:

Знать: аналитические и численные методы расчета магнитного поля в электрической машине	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?
Уметь: использовать методы расчетов магнитных полей для анализа магнитного состояния электрической машины	1. Для трехфазной сложной двухслойной обмотки, расположенной на сердечнике 1 ($2p=2$, $q1=1$, $y=2$, $Wk=5$), составить матрицу проводимости зубцовых контуров сердечника 1 для потокосцеплений $[LY1]$ и определить с ее помощью вектор потокосцеплений зубцовых контуров сердечника 1. Проводимость потокосцепления пазового рассеяния $=0,3 \times m0$ Гн. Проводимость для полного потокосцепления самоиндукции зубцового контура с сердечника 1 $=1,9 \times m0$ Гн. Дан вектор полных токов зубцовых контуров. 2. Электрическая машина имеет $z1=15$ зубцов на

	сердечнике 1 и $z_2=21$ зубец на сердечнике 2. Ось зубца 10 сердечника 1 совпадает с осью зубца 17 сердечника 2. Найти поток F_{10} в основании зубца 10 и потокоцепление Υ_{10} зубцового контура 10, если отличаются от нуля только следующие проводимости взаимоиндукции с 10 контуром: 10-9, 10-11, 10-16, 10-17, 10-18. Полные токи зубцовых контуров: $i_9=50\text{А}$; $i_{10}=10\text{А}$; $i_{11}=-10\text{А}$; $i_{16}=25\text{А}$; $i_{17}=30\text{А}$; $i_{18}=40\text{А}$. 3. Для электрической машины с трехфазной сложной двухслойной обмоткой, расположенной на сердечнике 1 ($2p=2$, $q_1=1$, $y=2$, $W_k=5$), определить энергию, запасенную в магнитном поле машины при токах в ветвях обмотки, имеющих следующие значения: $i_{v1} = -5\text{А}$, $i_{v2} = 10\text{А}$, $i_{v3} = -5\text{А}$. Полная самоиндуктивность ветвей обмотки $L_{ii}=160 \times 10^{-6}\text{ Гн}$. Полная взаимоиндуктивность ветвей обмотки $L_{ij}=-80 \times 10^{-6}\text{ Гн}$.
--	--

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. 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	1.Что такое матрица структуры обмотки?
электромеханического		2.Что такое первоначальные гармоники?
преобразования энергии		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-5. 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

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

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

1. Компетенция/Индикатор: ИД-5ПК-4 Применяет приближенные методы расчета и выбора основных элементов электрических машин и аппаратов

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. Основы метода зубцовых контуров: его назначение, этапы расчета, результаты.
7. Магнитное поле зубцового контура: четное и нечетное поле, магнитная проводимость зазора для потока ЗК при ОГУ.
8. Магнитное поле зубцового контура: особые граничные условия, проводимости для потоков и потокосцеплений взаимной индукции зубцовых контуров.
9. Схема замещения магнитной цепи ненасыщенной электрической машины: принципы создания, топология, параметры ветвей.
10. Матрица структуры обмотки: назначение, правила составления, примеры.
11. Способы определения токов зубцовых контуров.
12. Определение потока зубца по схеме замещения, расчет потоков зубцов ненасыщенной электрической машины.
13. Определение потокосцеплений ветвей обмоток через токи зубцовых контуров, через токи ветвей.
14. Матрица индуктивностей для ненасыщенной электрической машины. Зависимость индуктивностей ветвей от взаимного положения сердечников.
15. Уравнение напряжений, баланс мощности, электромагнитный момент.
16. Способы определения энергии магнитного поля электрической машины.
17. Определение гармоник МДС фазы простой обмотки с $q=1$ через гармоники МДС зубцовых контуров, коэффициент укорочения.
18. Гармоника индукции фазы простой обмотки с $q=1$: способы определения.

19. Определение гармоник МДС фазы простой обмотки с $q > 1$ через гармоники МДС элементарных фаз, коэффициент распределения.
20. Определение гармоник результирующей МДС простой многофазной обмотки через гармоники МДС фаз, гармонический состав МДС простой многофазной обмотки.
21. Гармонический состав поля сложной многофазной обмотки, классификация высших гармонических.
22. Потокосцепление и ЭДС катушки, катушечной группы и фазы при синусоидальной индукции магнитного поля.
23. Высшие гармонические ЭДС фазы от пространственных гармоник обмотки якоря и гармоник обмотки возбуждения.
24. Главная индуктивность фазы, главная индуктивность трехфазной обмотки для токов прямой последовательности, для токов нулевой последовательности.
25. Индуктивность фазы для n гармоники, индуктивность обмотки для n гармоники для токов прямой последовательности, для токов нулевой последовательности.
26. Поле рассеяния электрической машины, индуктивность рассеяния обмотки, способы ее расчета.
27. Индуктивное сопротивление дифференциального рассеяния трехфазной обмотки с учетом демпфирования.

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
3. поле от всех токов во всех пазах

Верный ответ: 1

5. Какие токи участвуют в образовании электромагнитного момента?

Ответы:

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

Верный ответ: 3

6. 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

7. Чем определяется главная индуктивность фазы?

Ответы:

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

Верный ответ: 1

8. Чем определяется главная индуктивность обмотки?

Ответы:

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

Верный ответ: 2

9. 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

10. 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