

УТВЕРЖДАЮ:
Декан факультета
Энергетический

22.04.2017 С. А. Ганджа

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
к ОП ВО от 28.06.2017 №007-03-0225

дисциплины ДВ.1.05.02 Метод конечных элементов при расчете электроприводов и электротехнических комплексов
для направления 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника
уровень магистр **тип программы**
магистерская программа Электроприводы и системы управления электроприводов
форма обучения очная
кафедра-разработчик Автоматизированный электропривод

Рабочая программа составлена в соответствии с ФГОС ВО по направлению подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника, утверждённым приказом Минобрнауки от 21.11.2014 № 1500

Зав.кафедрой разработчика,
к.техн.н., доц.
(ученая степень, ученое звание)

18.04.2017
(подпись)

А. Н. Шишков

Разработчик программы,
к.техн.н., доцент
(ученая степень, ученое звание,
должность)

18.04.2017
(подпись)

Е. В. Белоусов

1. Цели и задачи дисциплины

Цель дисциплины - освоение современных методов моделирования электромеханических систем для последующей оптимизации конструкции электромеханических преобразователей. Задачи дисциплины: изучение математического аппарата метода конечных элементов, овладение программными продуктами конечно-элементного анализа.

Краткое содержание дисциплины

В дисциплине "Метод конечных элементов при расчете электроприводов и электротехнических комплексов" изучается применение метода конечных элементов для моделирования электромеханических преобразователей и систем электропривода.

2. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

Планируемые результаты освоения ОП ВО (компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (ЗУНы)
ОК-1 способностью к абстрактному мышлению, обобщению, анализу, систематизации и прогнозированию	Знать:требуемые показатели качества проектирования электромеханических преобразователей;
	Уметь:выбирать методику расчета исходя из требуемой точности решения задачи, наличия ресурсов;
	Владеть:Программными средствами для систематизации полученных результатов.
ОПК-2 способностью применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы	Знать:Основные характеристики работы электрических машин и электроприводов, допустимые пределы варьирования параметров электромеханической системы;
	Уметь:наглядно представлять результаты своей работы, оценивать их правильность;
	Владеть:математическим аппаратом метода конечных элементов, аналитическими методами расчета электрических машин и других электромеханических преобразователей.
ОПК-4 способностью использовать углубленные теоретические и практические знания, которые находятся на передовом рубеже науки и техники в области профессиональной деятельности	Знать:основы математического анализа, теорию решения дифференциальных уравнений, текущие проблемы, цели и задачи, стоящие перед разработчиками современных систем электропривода;
	Уметь:создавать математические модели электромеханических систем, анализировать интегральные показатели, полученные в результате расчета модели;
	Владеть:программными продуктами конечно-элементного анализа, системой обработки данных и постпроцессинга, программными продуктами, позволяющими выполнять междисциплинарный анализ и интегрировать

	конечно-элементные модели электромеханических преобразователей в систему управления.
ПК-1 способностью планировать и ставить задачи исследования, выбирать методы экспериментальной работы, интерпретировать и представлять результаты научных исследований	Знать:основные тенденции развития современного электродвижения и электрических машин, современную элементную базу и вычислительные возможности обработки современной преобразовательной техники, вычислительные возможности компьютеров и суперкомпьютеров;
	Уметь:анализировать полученный результат моделирования, сопоставлять его с теорией, аналитическим решением той же задачи и физическим экспериментом;
	Владеть:методикой синтеза систем управления электродвижением, методикой оптимизации электромеханических преобразователей.
ОК-3 способностью к саморазвитию, самореализации, использованию творческого потенциала	Знать:основы инженерного проектирования;
	Уметь:самостоятельно осваивать новые или обновленные программные продукты конечно-элементного анализа;
	Владеть:методами самообучения.

3. Место дисциплины в структуре ОП ВО

Перечень предшествующих дисциплин, видов работ учебного плана	Перечень последующих дисциплин, видов работ
В.1.06 Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов, Б.1.05 Дополнительные главы математики	ДВ.1.04.02 Графоаналитические методы решения в электромеханических системах

Требования к «входным» знаниям, умениям, навыкам студента, необходимым при освоении данной дисциплины и приобретенным в результате освоения предшествующих дисциплин:

Дисциплина	Требования
В.1.06 Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов	Знание устройства типовых электрических машин
Б.1.05 Дополнительные главы математики	Знание основ дифференциального исчисления, знание численных методов решения дифференциальных уравнений, навыки оптимизации итерационного процесса поиска решения численными методами

4. Объём и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 з.е., 108 ч.

Вид учебной работы	Всего	Распределение по семестрам
--------------------	-------	----------------------------

	часов	в часах
		Номер семестра
		2
Общая трудоёмкость дисциплины	108	108
<i>Аудиторные занятия</i>	48	48
Лекции (Л)	16	16
Практические занятия, семинары и (или) другие виды аудиторных занятий (ПЗ)	8	8
Лабораторные работы (ЛР)	24	24
<i>Самостоятельная работа (СРС)</i>	60	60
Подготовка к лабораторным работам	30	30
Подготовка к экзамену	30	30
Вид итогового контроля (зачет, диф.зачет, экзамен)	-	экзамен

5. Содержание дисциплины

№ раздела	Наименование разделов дисциплины	Объем аудиторных занятий по видам в часах			
		Всего	Л	ПЗ	ЛР
1	Введение. Виды электромеханических систем и методики их проектирования	10	2	8	0
2	Физические основы электромеханических систем	1	1	0	0
3	Основы метода конечных элементов. Моделирование в вариационной постановке задачи	5	1	0	4
4	Моделирование электромеханических систем посредством прикладного программного обеспечения	20	8	0	12
5	Моделирование комплекса "электрический преобразователь - двигатель"	6	2	0	4
6	Моделирование тепловых процессов в электрических машинах	6	2	0	4

5.1. Лекции

№ лекции	№ раздела	Наименование или краткое содержание лекционного занятия	Кол-во часов
1	1	Электромеханические системы. Приближенные, инженерные, уточненные методы расчета. Приближенные методы расчета электрических машин	2
2	2	Уравнения электромагнитного поля. Уравнения Максвелла в декартовой системе координат.	1
2	3	Метод конечных элементов. Решение задач в вариационной постановке.	1
3	4	Синтаксис языка программирования APDL. Принцип генерации конечно-элементной сетки	2
4	4	Переход к плоскопараллельной постановке задачи, основные уравнения, допущения. Начальные условия. Свойства электротехнических материалов. Кривая намагничивания стали.	2
5	4	Геометрия электрической машины. Задачи оптимизации. Граничные условия. Закон полного тока.	2
6	4	Расчет электромагнитного момента электрической машины посредством тензора натяжений Максвелла. Сходимость расчета. Влияние нелинейностей.	1
6	4	Постпроцессинг. Анализ картины магнитного поля. Расчет интегральных	1

		показателей	
7	5	Моделирование электромеханической системы с учетом её работы от преобразователя	1
7	5	Расчет матмодели электропривода, выполненного в замкнутой системе	1
8	6	Тепловой расчет пространственной модели электрической машины. Возможности междисциплинарных расчетов ANSYS Workbench.	2

5.2. Практические занятия, семинары

№ занятия	№ раздела	Наименование или краткое содержание практического занятия, семинара	Кол-во часов
1	1	Расчет усилий в электромагните аналитическими методами	1
1	1	Приближенный расчет обобщенной электрической машины без учета конструктивных особенностей	1
2	1	Приближенный расчет обобщенной электрической машины без учета конструктивных особенностей	2
3	1	Расчет электромагнитных нагрузок и электромагнитного момента электрической машины аналитическими методами	2
4	1	Расчет электромагнитных нагрузок и электромагнитного момента электрической машины аналитическими методами	2

5.3. Лабораторные работы

№ занятия	№ раздела	Наименование или краткое содержание лабораторной работы	Кол-во часов
1	3	Расчет картины электромагнитных полей и усилий в электромагните на APDL модели в плоско-параллельной постановке задачи	4
2	4	Создание геометрии электрической машины в плоско-параллельной постановке задачи посредством APDL-среды. Задание систем координат, свойств материала, параметров расчета	2
3	4	Запуск APDL модели электрической машины на локальном компьютере. Постановка задачи в очередь суперкомпьютера. Анализ результатов постпроцессинга. Сравнение полученных результатов с результатами приближенного расчета.	2
4	4	Построение модели электромагнита в плоскопараллельной и пространственной постановке задачи посредством автоматизированного программного продукта ANSYS Maxwell	4
5	4	Автоматизированный аналитический расчет геометрических параметров электрической машины посредством ANSYS RMExpert. Анализ корректности математической модели. Сравнение полученных и расчетных статических характеристик электродвигателя. Создание конечно-элементной модели Maxwell на базе модели RM Expert	4
6	5	Математическое моделирование системы управления электроприводом переменного тока и интеграция в нее конечно-элементной модели электрической машины.	4
7	6	Моделирование тепловых процессов в электрической машины. Создание конечно-элементной модели. Моделирование установившегося режима. Анализ распределения тепла. Моделирование переходных процессов нагрева без учета самовентиляции машины. Междисциплинарный анализ влияния электрических и электромагнитных потерь на нагрев электрической машины.	4

5.4. Самостоятельная работа студента

Выполнение СРС		
Вид работы и содержание задания	Список литературы (с указанием разделов, глав, страниц)	Кол-во часов
Подготовка к лабораторным работам	ПУМД осн. лит. 1, с.17-32; ПУМД, доп. лит. 3, с. 34-65, ПУМД, доп. лит. 2.	30
подготовка к экзамену	ПУМД осн. лит. 2, с. 7 -252; ПУМД осн. лит 3, с. 55 - 84	30

6. Инновационные образовательные технологии, используемые в учебном процессе

Инновационные формы учебных занятий	Вид работы (Л, ПЗ, ЛР)	Краткое описание	Кол-во ауд. часов
проблемно-ориентированный подход	Лабораторные занятия	решение задач оптимизации электрических машин с учетом текущих проблем, стоящих перед разработчиками электромеханических систем	2

Собственные инновационные способы и методы, используемые в образовательном процессе

Не предусмотрены

Использование результатов научных исследований, проводимых университетом, в рамках данной дисциплины: Разработка комплекса "преобразователь - двигатель", оптимизация конструктивных параметров синхронной реактивной машины независимого возбуждения, разработка электропривода для трактора ДЭТ-20.

7. Фонд оценочных средств (ФОС) для проведения текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины

7.1. Паспорт фонда оценочных средств

Наименование разделов дисциплины	Контролируемая компетенция ЗУНы	Вид контроля (включая текущий)	№№ заданий
Введение. Виды электромеханических систем и методики их проектирования	ПК-1 способностью планировать и ставить задачи исследования, выбирать методы экспериментальной работы, интерпретировать и представлять результаты научных исследований	Экзамен	1-3
Физические основы электромеханических систем	ОПК-4 способностью использовать углубленные теоретические и практические знания, которые находятся на передовом рубеже науки и техники в области профессиональной деятельности	экзамен	4-7
Основы метода конечных элементов. Моделирование в вариационной постановке задачи	ОПК-2 способностью применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы	экзамен	8-10

Моделирование электромеханических систем посредством прикладного программного обеспечения	ОК-3 способностью к саморазвитию, самореализации, использованию творческого потенциала	экзамен	11-12
Моделирование комплекса "электрический преобразователь - двигатель"	ОК-1 способностью к абстрактному мышлению, обобщению, анализу, систематизации и прогнозированию	экзамен	13-14
Моделирование тепловых процессов в электрических машинах	ОПК-2 способностью применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы	экзамен	15-16

7.2. Виды контроля, процедуры проведения, критерии оценивания

Вид контроля	Процедуры проведения и оценивания	Критерии оценивания
Экзамен	Экзамены проводятся в письменной форме по билетам, составленным в соответствии с программой курса и утвержденным заведующим кафедрой.	Отлично: полный, развернутый ответ на поставленный вопрос, показана совокупность осознанных знаний по дисциплине, доказательно раскрыты основные положения вопросов; в ответе прослеживается четкая структура, логическая последовательность, отражающая сущность раскрываемых понятий, теорий, явлений. Знание по предмету демонстрируется на фоне понимания его в системе данной науки и междисциплинарных связей. Ответ изложен литературным языком с использованием современной технической терминологии. Могут быть допущены недочеты в определении понятий, исправленные студентом самостоятельно в процессе ответа. Хорошо: полный, развернутый ответ на поставленный вопрос, показано умение выделить существенные и несущественные признаки, причинно-следственные связи. Ответ четко структурирован, логичен, изложен литературным языком с использованием современной технической терминологии. Могут быть допущены 2-3 неточности или незначительные ошибки, исправленные студентом с помощью преподавателя. Удовлетворительно: недостаточно полный и недостаточно развернутый ответ. Логика и последовательность изложения имеют нарушения. Допущены ошибки в раскрытии понятий, употреблении терминов. Студент не способен самостоятельно выделить существенные и несущественные признаки и причинно-следственные связи. В ответе отсутствуют выводы. Умение раскрыть значение обобщенных знаний не показано. Речевое оформление требует поправок, коррекции. Неудовлетворительно: нелогичный, безсистемный ответ. Наводящие вопросы преподавателя не дают никакого результата.

7.3. Типовые контрольные задания

Вид контроля	Типовые контрольные задания
Экзамен	1. Назовите отличия граничных условий Дирихле и Неймана 2. Какое усилие создает электромагнит, выполненный из стали 1020. площадью пластин 24 кв.см. при протекающем токе 25А? 3. Генерацию конечно-элементной сетки какой части машины необходимо выполнить

	как минимум с десятикратно большей точностью? Почему? 4. Расчитайте максимальный шаг расчета модели "частотный преобразователь - двигатель", работающей на несущей частоте 2000 Гц? 5. Как в конечно-элементной модели электрической машины учесть номинальное напряжение питания? 6. Назовите оптимальные параметры сетки конечно-элементной модели 7. Какие уточнения дает модель электрической машины с распределенными параметрами? 8. Какие интегральные показатели дают качественную оценку адекватности конечно-элементной модели? 9. Перечислите основные свойства стале, которые необходимо учесть при построении конечно-элементной модели. 10. Назовите преимущества и недостатки магнитостатического и динамического расчетов задачи в конечно-элементной-постановке. 11. Назовите допущения, преимущества и недостатки плоско-параллельной постановки задачи 12. Назовите допущения, преимущества и недостатки пространственной постановки задачи 13. Как в конечно-элементной модели электромагнитного состояния электрической машины можно учесть потери в стали на гистерезис, перемагничивание и вихревые токи? 14. Какие операции постпроцессинга возможно реализовать на базе программной среды ANSYS Maxwell? 15. Назовите число дифференциальных уравнений расчета конечно-элементной модели, состоящей из четырех элементов? 16. Какие численные методы применяются при итерационном расчете конечно-элементной модели?
--	---

8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

Печатная учебно-методическая документация

а) основная литература:

1. Сахаров, А. С. Метод конечных элементов в механике твердых тел Под ред. А. С. Сахарова, И. Альтенбаха. - Киев: Вища школа, 1982. - 480 с.
2. Оsepчугoв, В. В. Автомобиль: Анализ конструкций, элементы расчета Учеб. для вузов по специальности "Автомобили и автомоб. хоз-во" В. В. Оsepчугoв, А. К. Фрумкин. - М.: Машиностроение, 1989. - 304 с. ил.
3. Москаленко, В. В. Автоматизированный электропривод Учебник В. В. Москаленко. - М.: Энергоатомиздат, 1986. - 416 с. ил.

б) дополнительная литература:

1. Усынин, Ю. С. Системы управления электроприводов Текст учеб. пособие Ю. С. Усынин ; Юж.-Урал. гос. ун-т, Каф. Электропривод и автоматизация пром. установок ; ЮУрГУ. - Челябинск: Издательство ЮУрГУ, 2001. - 358 с. ил.
2. Брауэр, В. Введение в теорию конечных автоматов Пер. с нем. К. В. Рудакова; Под ред. Ю. И. Журавлева. - М.: Радио и связь, 1987. - 391 с. Ил.
3. Кандидов, В. П. Метод конечных элементов в задачах динамики. - М.: Издательство МГУ, 1980. - 165 с. ил.
4. Сильвестер, П. Метод конечных элементов для радиоинженеров и инженеров-электриков Пер. с англ. С. Н. Хотяинцева; Под ред. Ф. Ф. Дубровки. - М.: Мир, 1986. - 229 с. ил.

в) отечественные и зарубежные журналы по дисциплине, имеющиеся в библиотеке:

1. ВЕСТНИК ЮЖНО-УРАЛЬСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА. СЕРИЯ: ЭНЕРГЕТИКА. Издательство: Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)

г) методические указания для студентов по освоению дисциплины:

1. Ю.А. Сагдеева, С.П. Копысов, А.К. Новиков. Введение в метод конечных элементов: метод. пособие. Ижевск: Изд-во "Удмуртский университет", 2011г. 44с.

из них: учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента:

2. Ю.А. Сагдеева, С.П. Копысов, А.К. Новиков. Введение в метод конечных элементов: метод. пособие. Ижевск: Изд-во "Удмуртский университет", 2011г. 44с.

Электронная учебно-методическая документация

№	Вид литературы	Наименование разработки	Ссылка на информационный ресурс	Наименование ресурса в электронной форме	Доступность (сеть Интернет / локальная сеть; авторизованный / свободный доступ)
1	Методические пособия для самостоятельной работы студента	Курносов, Д. А. Математическое моделирование электромеханических систем	http://virtua.lib.susu.ru	Электронный каталог ЮУрГУ	Интернет / Свободный

9. Информационные технологии, используемые при осуществлении образовательного процесса

Перечень используемого программного обеспечения:

1. ANSYS-ANSYS Academic Multiphysics Campus Solution (Mechanical, Fluent, CFX, Workbench, Maxwell, HFSS, Simplorer, Designer, PowerArtist, RedHawk)(бессрочно)
2. Math Works-MATLAB, Simulink 2013b(бессрочно)

Перечень используемых информационных справочных систем:

1. -Информационные ресурсы ФИПС(бессрочно)

10. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Вид занятий	№ ауд.	Основное оборудование, стенды, макеты, компьютерная техника, предустановленное программное обеспечение, используемое для различных видов занятий
-------------	--------	--

Лабораторные занятия	255a (1)	компьютерная техника лаборатории суперкомпьютерного моделирования в электротехнических системах и комплексах. 12 машин повышенной производительности с доступом в интернет и возможностью распараллеливания расчетов, а также их запуска на суперкомпьютере ЮУрГУ
Самостоятельная работа студента	526-2 (1)	Компьютерный класс кафедры ЭПА имеет 14 персональных компьютеров с выходом в Интернет (ресурсы и фонды библиотек). Открытые коммерческие ресурсы для академического доступа. Научно-техническая информация, содержащая сведения о новых типах электротехнических комплексов. Реестры и бюллетени ФИПС (Научно-техническая информация, содержащая сведения о новых типах вентильных преобразователей и систем управления)