

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования



**Пермский национальный исследовательский
политехнический университет**

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе


_____ Н.В.Лобов

« 17 » февраля 20 ____ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Дисциплина: _____
Математическое моделирование электрических машин
(наименование)

Форма обучения: _____
очная
(очная/очно-заочная/заочная)

Уровень высшего образования: _____
магистратура
(бакалавриат/специалитет/магистратура)

Общая трудоёмкость: _____
180 (5)
(часы (ЗЕ))

Направление подготовки: _____
13.04.02 Электроэнергетика и электротехника
(код и наименование направления)

Направленность: _____
Электромеханика
(наименование образовательной программы)

1. Общие положения

1.1. Цели и задачи дисциплины

Цель дисциплины «Математическое моделирование электрических машин» - формирование комплексных знаний, умений и навыков, связанных с методами математического моделирования неявнополусных электрических машин, использованию методов расчета магнитных полей и характеристик, анализа полученных данных и выдачи необходимых рекомендаций, а так же для выполнения научно – исследовательской работы.

Задача дисциплины – Для достижения цели дисциплины при работе выпускников в областях, предусмотрено решение следующих основных задач:

изучение методов математического моделирования неявнополусных электрических машин, основанных на решении уравнений электромагнитного поля;

формирование умения самостоятельно производить математическое описание электромагнитных процессов, протекающих в электрической машине, выбирать рациональный метод решения, полученной системы дифференциальных уравнений, решать системы уравнений, описывающих электромагнитные процессы электрической машины с учетом допущений и вариаций параметров модели, анализировать полученные результаты и выдавать необходимые рекомендации;

формирование навыков использования современного прикладного программного обеспечения и информационных технологий при решении соответствующих полевых задач.

1.2. Изучаемые объекты дисциплины

Предметом освоения дисциплины являются следующие объекты:

- методы математического моделирования неявнополусных электрических машин, основанные на решении уравнений электромагнитного поля;
- методы решения уравнений, описывающих электромагнитные процессы, происходящие в электрических машинах.

1.3. Входные требования

Не предусмотрены

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
ПК-2.4	ИД-1ПК-2.4	знает: - современные методы исследования электромагнитных процессов электрических машин;	Знает основные этапы, методы, инструменты и действия инжиниринга, необходимые для анализа вариантов, разработки и поиска компромиссных решений	Экзамен

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
ПК-2.4	ИД-2ПК-2.4	умеет: - работать на современном исследовательском, специальном лабораторно – исследовательском оборудовании при исследовании электромагнитных процессов электрических машин. - осуществлять выбор экспериментальных исследований и специального оборудования.	Умеет формулировать требования и критерии анализа вариантов, разработки и поиска компромиссных решений	Курсовой проект
ПК-2.4	ИД-3ПК-2.4	Владеет: - навыками работы на лабораторном оборудовании; - методами постановки эксперимента на исследовательском оборудовании	Владеет навыками анализа вариантов, разработки и поиска компромиссных решений с использованием базовых средств моделирования	Отчёт по практическом у занятию
ПК-2.5	ИД-1ПК-2.5	знает: - требования, предъявляемые к отчетам и публикациям по проведенной работе при математическом моделировании электрических машин - требования к содержанию отчетов по лабораторному исследованию электрических машин; - основные зависимости, характеристики и параметры электрических машин, которые анализируются в задачах проектного и исследовательского характера.	Знает основные методы создания и анализа моделей, позволяющих прогнозировать свойства и поведение объектов в области профессиональной деятельности	Экзамен
ПК-2.5	ИД-2ПК-2.5	Умеет: - анализировать полученные результаты и выдавать необходимые	Умеет создавать и анализировать модели, позволяющие прогнозировать свойства и	Курсовой проект

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
		<p>рекомендации.</p> <ul style="list-style-type: none"> - интерпретировать данные, собранные из различных источников и баз данных, и сопоставлять их с теоретическими положениями; - контролировать правильность получаемых данных и выводов по результатам информационного поиска. 	поведение объектов в области профессиональной деятельности	
ПК-2.5	ИД-3ПК-2.5	<p>Владеет</p> <ul style="list-style-type: none"> - навыками по обработке и анализу опытных и расчетных данных; - навыками построения экспериментальных и расчетных графических зависимостей; - навыками формулирования целей и задач исследований, а также выводов по результатам измерений и расчетов при подготовке публикаций. 	Владеет навыками прогнозирования свойств и поведения объектов в области профессиональной деятельности с использованием современных программно-технических средств	Отчёт по практическому занятию
ПК-2.6	ИД-1ПК-2.6	<p>Знает:</p> <ul style="list-style-type: none"> - современные САПР в области исследования электромагнитных процессов электрических машин, - основы программирования в прикладном программном обеспечении. 	Знает методы решения задач инженерной сложности по выбору серийных объектов, основы междисциплинарного подхода и документирования требований при проектировании новых объектов в области профессиональной деятельности	Экзамен
ПК-2.6	ИД-2ПК-2.6	<p>умеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> - составлять программы расчета систем дифференциальных уравнений, описывающих 	Умеет решать основные задачи инженерной сложности по выбору серийных объектов, документировать требования при проектировании новых	Курсовой проект

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
		электромагнитные процессы в электрической машине в прикладных программных пакетах. - анализировать полученные результаты моделирования.	объектов в области профессиональной деятельности	
ПК-2.6	ИД-3ПК-2.6	владеет: - навыками работы в прикладных программных пакетах.	Владеет навыками выбора серийных объектов и проектирования отдельных частей новых объектов в области профессиональной деятельности	Отчёт по практическому занятию

3. Объем и виды учебной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах	
		Номер семестра	
		3	
1. Проведение учебных занятий (включая проведение текущего контроля успеваемости) в форме: 1.1. Контактная аудиторная работа, из них:	54	54	
- лекции (Л)	18	18	
- лабораторные работы (ЛР)			
- практические занятия, семинары и (или) другие виды занятий семинарского типа (ПЗ)	34	34	
- контроль самостоятельной работы (КСР)	2	2	
- контрольная работа			
1.2. Самостоятельная работа студентов (СРС)	90	90	
2. Промежуточная аттестация			
Экзамен	36	36	
Дифференцированный зачет			
Зачет			
Курсовой проект (КП)	36	36	
Курсовая работа (КР)			
Общая трудоемкость дисциплины	180	180	

4. Содержание дисциплины

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
3-й семестр				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
Математическое моделирование асинхронных машин в режиме идеального холостого хода.	4	0	6	15
<p>Тема 1. Математические модели и их характеристики Одномерные модели. Двумерные модели. Трехмерные модели. Достоинства и недостатки каждого из видов математических моделей. Электромагнитная асимметрия. Причины электрической асимметрии. Причины магнитной асимметрии. Многообразие форм и причины асимметрии электрических машин. Форма огибающей магнитной индукции в зазоре машины.</p> <p>Тема 2. Математическая модель асинхронной машины в одномерном приближении Ряд допущений для упрощения математического описания электромагнитных процессов электрической машины. Вывод уравнения магнитного поля. Решение одномерного дифференциального уравнения конечно – разностным методом. Аналитический и численный расчет магнитного поля трёхфазного асинхронного двигателя в режиме холостого хода.</p> <p>Тема 3. Двумерная математическая модель асинхронной машины в режиме холостого хода Решение краевой задачи в двумерной постановке. Программа решения двумерной краевой задачи в пакете MATLAB.</p>				
Моделирование рабочего режима короткозамкнутого асинхронного двигателя.	4	0	6	15
<p>Тема 4. Стационарный режим короткозамкнутого асинхронного двигателя на основе одномерной модели Дополнительные упрощающие допущения для описания электромагнитных процессов электрических машин. Уравнение для векторного потенциала, учитывающее влияние магнитных сопротивлений ярма статора и ротора, а так же рассеяние ротора.</p> <p>Тема 5. Плотность стороннего тока при питании обмотки статора от источника системы линейных напряжений Задание источников электромагнитного поля. Определение величины фазных токов асинхронной машины через систему уравнений Кирхгофа. Система уравнений, позволяющая рассчитать величины фазных токов и векторного потенциала в исследуемой области. Решение системы уравнений для расчета значений векторного потенциала.</p> <p>Тема 6. Тормозные режимы короткозамкнутых асинхронных электродвигателей Виды тормозных режимов асинхронных</p>				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
<p>двигателей. Характеристика каждого из тормозных режимов. Реализация всех видов торможения с помощью математической модели.</p> <p>Тема 7. Нестационарный режим короткозамкнутого асинхронного двигателя</p> <p>Уравнение, описывающее нестационарные электромагнитные поля асинхронного короткозамкнутого двигателя. Задание источников поля в нестационарном режиме. Система уравнений, позволяющая рассчитать мгновенные значения фазных токов и векторного потенциала в зазоре асинхронной машины. Последовательность расчета нестационарного процесса асинхронных короткозамкнутых двигателей.</p> <p>Тема 8. Двумерная модель рабочего режима короткозамкнутого асинхронного двигателя</p> <p>Определением магнитного поля асинхронной машины в результате решения краевой задачи, описываемой двумерным уравнением в частных производных и краевыми условиями.</p>				
Математическое моделирование асинхронных машин с фазным ротором.	4	0	6	15
<p>Тема 9. Стационарный режим асинхронного двигателя с фазным ротором</p> <p>Перечень упрощающих допущений при математическом описании электромагнитных процессов асинхронного двигателя с фазным ротором. Уравнение магнитного поля асинхронного двигателя с фазным ротором. Последовательность решения краевой задачи асинхронного двигателя с фазным ротором.</p> <p>Тема 10. Моделирование рабочего режима асинхронного двигателя с фазным ротором</p> <p>Отличия математической модели рабочего режима асинхронного двигателя с фазным ротором от рассмотренных ранее режимов. Пример расчета рабочих характеристик асинхронного двигателя с фазным ротором.</p> <p>Тема 11. Моделирование динамических режимов асинхронных двигателей с фазным ротором</p> <p>Система уравнений, описывающая электромагнитные процессы асинхронной машины с фазным ротором в одномерном приближении. Расчет электромагнитного переходного процесса при пуске асинхронного двигателя с фазным ротором.</p>				
Математические модели однофазных асинхронных электродвигателей.	2	0	6	15
<p>Тема 12. Однофазный асинхронный двигатель</p> <p>Классификация однофазных асинхронных двигателей. Особенности однофазных</p>				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
асинхронных двигателей. Отличия методики моделирования однофазного асинхронного двигателя от методики моделирования трехфазных машин. Пример расчета рабочих характеристик однофазного двигателя. Тема 13. Конденсаторный асинхронный двигатель Особенности конденсаторных электродвигателей. Совокупность уравнений математической модели стационарного режима конденсаторного двигателя.				
Машины постоянного тока.	2	0	5	15
Тема 14. Стационарные режимы работы машин постоянного тока Математическая модель для исследования электромагнитных процессов машин постоянного тока с распределенной обмоткой. Расчет магнитного поля и характеристики холостого хода машины постоянного тока в режиме генератора. Тема 15. Динамические режимы работы машин постоянного тока с распределенными обмотками статора Условия возникновения возбуждения. Уравнение, описывающее электромагнитные процессы в электрической цепи якорь – обмотка возбуждения. Расчет переходного процесса машины постоянного тока с распределённой обмоткой.				
Синхронный неявнополюсный генератор.	2	0	5	15
Тема 16. Режим холостого хода синхронного неявнополюсного генератора. Расчет магнитного поля и характеристик холостого хода синхронного неявнополюсного генератора.				
ИТОГО по 3-му семестру	18	0	34	90
ИТОГО по дисциплине	18	0	34	90

Тематика примерных практических занятий

№ п.п.	Наименование темы практического (семинарского) занятия
1	Достоинства и недостатки каждого из видов математических моделей
2	Расчет магнитного поля трех фазного асинхронного двигателя вдоль радиальной координаты
3	Решение двумерной краевой задачи в пакете MATLAB
4	Расчет рабочих характеристик асинхронного короткозамкнутого двигателя
5	Расчет рабочих характеристик асинхронного короткозамкнутого двигателя
6	Моделирование тормозного режима короткозамкнутого асинхронного электродвигателя

№ п.п.	Наименование темы практического (семинарского) занятия
7	Расчет электромагнитного переходного процесса при пуске короткозамкнутого асинхронного двигателя
8	Двумерная модель рабочего режима короткозамкнутого асинхронного двигателя
9	Моделирование стационарного режима асинхронного двигателя с фазным ротором
10	Расчет рабочих характеристик асинхронного двигателя с фазным ротором типа 4АК160М2У3
11	Расчет электромагнитного переходного процесса при пуске асинхронного двигателя с фазным ротором
12	Расчет рабочих характеристик однофазного асинхронного двигателя
13	Математическая модель конденсаторного двигателя
14	Расчет магнитного поля и характеристики холостого хода машины постоянного тока в режиме генератора
15	Программа расчета переходного процесса машин постоянного тока с распределенными обмотками с самовозбуждением
16	Программа расчета магнитного поля и характеристики холостого хода синхронного неявнополюсного генератора

Тематика примерных курсовых проектов/работ

№ п.п.	Наименование темы курсовых проектов/работ
1	Расчет магнитного поля и рабочих характеристик трёхфазного асинхронного двигателя.

5. Организационно-педагогические условия

5.1. Образовательные технологии, используемые для формирования компетенций

<p>Проведение лекционных занятий по дисциплине основывается на активном методе обучения, при которой учащиеся не пассивные слушатели, а активные участники занятия, отвечающие на вопросы преподавателя. Вопросы преподавателя нацелены на активизацию процессов усвоения материала, а также на развитие логического мышления. Преподаватель заранее намечает список вопросов, стимулирующих ассоциативное мышление и установления связей с ранее освоенным материалом.</p> <p>Практические занятия проводятся на основе реализации метода обучения действием: определяются проблемные области, формируются группы. При проведении практических занятий преследуются следующие цели: применение знаний отдельных дисциплин и креативных методов для решения проблем и принятия решений; отработка у обучающихся навыков командной работы, межличностных коммуникаций и развитие лидерских качеств; закрепление основ теоретических знаний.</p> <p>При проведении учебных занятий используются интерактивные лекции, групповые дискуссии, ролевые игры, тренинги и анализ ситуаций и имитационных моделей.</p>

5.2. Методические указания для обучающихся по изучению дисциплины

При изучении дисциплины обучающимся целесообразно выполнять следующие рекомендации:

1. Изучение учебной дисциплины должно вестись систематически.
2. После изучения какого-либо раздела по учебнику или конспектным материалам рекомендуется по памяти воспроизвести основные термины, определения, понятия раздела.
3. Особое внимание следует уделить выполнению отчетов по практическим занятиям, лабораторным работам и индивидуальным комплексным заданиям на самостоятельную работу.
4. Вся тематика вопросов, изучаемых самостоятельно, задается на лекциях преподавателем. Им же даются источники (в первую очередь вновь изданные в периодической научной литературе) для более детального понимания вопросов, озвученных на лекции.

6. Перечень учебно-методического и информационного обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

6.1. Печатная учебно-методическая литература

№ п/п	Библиографическое описание (автор, заглавие, вид издания, место, издательство, год издания, количество страниц)	Количество экземпляров в библиотеке
1. Основная литература		
1	Беляев Е. Ф. Дискретно-полевые модели электрических машин : ч. I, II : учебное пособие для вузов / Е. Ф. Беляев, Н. В. Шулаков. - Пермь: Изд-во ПГТУ, 2009.	48
2	Вольдек А. И. Электрические машины. Введение в электромеханику. Машины постоянного тока и трансформаторы : учебник для вузов / А. И. Вольдек, В. В. Попов. - Санкт-Петербург[и др.]: Питер, 2008.	22
3	Вольдек А. И. Электрические машины. Машины переменного тока : учебник для вузов / А. И. Вольдек, В. В. Попов. - Санкт-Петербург [и др.]: Питер, 2008.	20
4	Копылов И. П. Электрические машины : учебник для бакалавров / И. П. Копылов. - Москва: Юрайт, 2012.	1
5	Шулаков Н. В. Электрические машины : конспект лекций / Н. В. Шулаков. - Пермь: Изд-во ПГТУ, 2008.	87
2. Дополнительная литература		
2.1. Учебные и научные издания		
1	Иванов-Смоленский А. В. Электрические машины : учебник для вузов / А. В. Иванов-Смоленский. - М.: Энергия, 1980.	4
2	Токарев Б. Ф. Электрические машины : учебное пособие для вузов / Б. Ф. Токарев. - Москва: Энергоатомиздат, 1990.	37
2.2. Периодические издания		
1	Вестник ПНИПУ. Электротехника, информационные технологии, системы управления : журнал / Пермский национальный исследовательский политехнический университет ; Под ред. А. А. Ташкинова ; Под ред. А. М. Костыгова. - Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2012.	
2.3. Нормативно-технические издания		
	Не используется	
3. Методические указания для студентов по освоению дисциплины		

	Не используется	
4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента		
	Не используется	

6.2. Электронная учебно-методическая литература

Вид литературы	Наименование разработки	Ссылка на информационный ресурс	Доступность (сеть Интернет / локальная сеть; авторизованный / свободный доступ)
Основная литература	Беляев Е. Ф. Дискретно-полевые модели электрических машин : ч. I, II : учебное пособие для вузов / Е. Ф. Беляев, Н. В. Шулаков. - Пермь: Изд-во ПГТУ, 2009.	http://elib.pstu.ru/Record/RUPNRPUelib2978	локальная сеть; свободный доступ
Основная литература	Шулаков Н. В. Электрические машины : конспект лекций / Н. В. Шулаков. - Пермь: Изд-во ПГТУ, 2008.	http://elib.pstu.ru/Record/RUPNRPUelib2861	локальная сеть; свободный доступ

6.3. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение, используемое при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Вид ПО	Наименование ПО
Операционные системы	MS Windows XP (подп. Azure Dev Tools for Teaching до 27.02.2022)
Офисные приложения.	Microsoft Office Professional 2007. лиц. 42661567
Прикладное программное обеспечение общего назначения	MATHCAD 14 Academic, ПНИПУ 2009 г.
Прикладное программное обеспечение общего назначения	MATLAB 7.9 + Simulink 7.4 Academic, ПНИПУ 2009 г.

6.4. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Наименование	Ссылка на информационный ресурс
Научная библиотека Пермского национального исследовательского политехнического университета	http://lib.pstu.ru/
Электронно-библиотечная система Лань	https://e.lanbook.com/
Электронно-библиотечная система IPRbooks	http://www.iprbookshop.ru/
Информационные ресурсы Сети КонсультантПлюс	http://www.consultant.ru/

7. Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине

Вид занятий	Наименование необходимого основного оборудования и технических средств обучения	Количество единиц
Курсовой проект	Компьютер	10
Лекция	Компьютер, проектор, маркерная (меловая) доска	1
Практическое занятие	Компьютер	10

8. Фонд оценочных средств дисциплины

Описан в отдельном документе