

**Филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»
в г. Смоленске**

УТВЕРЖДАЮ

Зам. директора
филиала ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»
в г. Смоленске
по учебно-методической работе
В.В. Рожков
« 31 » 08 2015 г.



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД

(НАИМЕНОВАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ)

Направление подготовки: 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

Магистерская программа: Электроприводы и системы управления электроприводов

Уровень высшего образования: магистратура

Нормативный срок обучения: 2 года

Форма обучения: очная

Смоленск – 2015 г.

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Целью освоения дисциплины является подготовка обучающихся к проектно-конструкторской деятельности по направлению подготовки 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника» посредством обеспечения этапов формирования компетенций, предусмотренных ФГОС, в части представленных ниже знаний, умений и навыков.

Задачами дисциплины является изучение понятийного аппарата дисциплины, основных теоретических положений и методов, привитие навыков применения теоретических знаний для решения практических задач.

Дисциплина направлена на формирование следующей профессиональной компетенции:

- ПК-8 «способность применять методы создания и анализа моделей, позволяющих прогнозировать свойства и поведение объектов профессиональной деятельности».

В результате изучения дисциплины студент должен:

Знать:

- основные принципы частотного регулирования в скалярной и векторной форме (ПК-8);
- схемотехнику силовых частей и теоретические основы построения систем управления частотно-регулируемых электроприводов (ПК-8);
- варианты построения замкнутых систем частотно-регулируемых электроприводов (ПК-8).

Уметь:

- пользоваться методами построения датчиковых и бездатчиковых систем частотно-регулируемого электропривода с идентификацией параметров и состояния объекта управления – асинхронного (синхронного) электродвигателя (ПК-8).

Владеть:

- навыками расчета и моделирования систем асинхронных и синхронных частотно-регулируемых электроприводов (ПК-8).

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина относится к вариативной части дисциплин по выбору В.ДВ.3.1 студента цикла Б1 образовательной программы подготовки магистров по магистерской программе «Электроприводы и системы управления электроприводов», направления «Электроэнергетика и электротехника».

В соответствии с учебным планом по направлению «Электроэнергетика и электротехника» дисциплина «Частотно-регулируемый электропривод» базируется на следующих дисциплинах:

Б1.В.ОД.7 «Спецвопросы теории электропривода»;

Б1.Б.6 «Методология научного творчества».

Знания, умения и навыки, полученные студентами в процессе изучения дисциплины, являются базой для изучения следующих дисциплин:

дисциплина является завершающей в образовательной траектории при освоении компетенции ПК-8.

3. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся

Аудиторная работа

Цикл:	Б1	Семестр
Часть цикла:	вариативная	
№ дисциплины по учебному плану:	Б1.В.ДВ.3.1	
Часов (всего) по учебному плану:	144	2 семестр
Трудоемкость в зачетных единицах (ЗЕТ)	4	2 семестр
Лекции (ЗЕТ, часов)	0,5, 18	2 семестр
Практические занятия (ЗЕТ, часов)	0,5, 18	2 семестр
Лабораторные работы (ЗЕТ, часов)	0,5, 18	2 семестр
Объем самостоятельной работы по учебному плану (ЗЕТ, часов всего)	1,5, 54	2 семестр
Экзамен (ЗЕТ, часов)	1, 36	2 семестр

Самостоятельная работа студентов

Вид работ	Трудоёмкость, ЗЕТ, час
Изучение материалов лекций (лк)	-
Подготовка к практическим занятиям (пз)	0,5, 18
Подготовка к выполнению и защите лабораторной работы (лаб)	0,5, 18
Выполнение расчетно-графической работы (реферата)	16/36, 16
Выполнение курсового проекта (работы)	-
Самостоятельное изучение дополнительных материалов дисциплины (СРС)	2/36, 2
Подготовка к контрольным работам	-
Подготовка к тестированию	-
Подготовка к зачету	-
Всего:	1,5, 54
Подготовка к экзамену	1, 36

4. Содержание дисциплины, структурированное по темам с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

№ п/п	Темы дисциплины	Всего часов на тему	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу студентов, и трудоемкость (в часах)				
			лк	пр	лаб	СРС	в т.ч. интеракт.
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Тема 1. Обзор основных вариантов промышленной реализации частотно-регулируемых электроприводов.	16	4		8	8	
2	Тема 2. Принципы управления преобразователями частоты.	34	4	10	8	36	10
3	Тема 3. Принципы широтно-импульсной модуляции (ШИМ) выходного напряжения инвертора.	4	2	2		2	2

4	Тема 4. Многоуровневые схемы преобразователей частоты. Высоковольтные варианты частотно-регулируемых электроприводов.	4	4				4
5	Тема 5. Квазичастотное управление асинхронного двигателя.	2	2				
6	Тема 6. Варианты практических решений частотно-регулируемых электроприводов. Анализ и моделирование.	10	2	6	2	6	6
7	Дополнительная тема на СРС. Позиционный электропривод (сервопривод) с частотным преобразователем и контуром положения.	2				2	
всего 144 часа по видам учебных занятий (включая 36 часов на подготовку к экзамену)			18	18	18	54	18

Содержание по видам учебных занятий

Тема 1. Обзор основных вариантов промышленной реализации частотно-регулируемых электроприводов

Лекция 1. Основные фирмы-производители частотных преобразователей. Основные функциональные устройства преобразователей для частотного электропривода: выпрямители, инверторы. Схемы силовых частей преобразователей. Схема «трехфазный неуправляемый выпрямитель – трехфазный автономный инвертор напряжения». Преобразователь частоты на основе автономного инвертора тока (АИТ). Преобразователь на основе АИТ на современных коммутирующих элементах. Схемы силовых частей высоковольтных преобразователей частоты (реализации и особенности). (2 часа).

Лекция 2. Основные методы управления ключами автономного инвертора напряжения (АИН): разомкнутая широтно-импульсная модуляция (ШИМ), замкнутая ШИМ, ШИМ в комбинации с амплитудно-импульсной модуляцией, многоуровневая ШИМ (2 часа).

Лабораторная работа 1. Изучение принципов работы, отладка технологических циклов на лабораторном стенде с частотно-регулируемыми асинхронными электроприводами Mitsubishi Electric и промышленным программируемым технологическим контроллером (ПЛК) типа MELSEC FX2N-16MR (4 часа).

Лабораторная работа 2. Изучение принципов работы, отладка технологических циклов на лабораторном стенде с частотно-регулируемыми асинхронными электроприводами Schneider Electric и промышленным ПЛК типа «alpha-2» (4 часа).

Самостоятельная работа 1. Подготовка к выполнению и защите лабораторной работы № 1 и № 2 (изучение методических указаний, предварительная проработка технологического цикла) (всего к теме №1 – 4 часа).

Текущий контроль – устный опрос при проведении допуска к лабораторным работам, защита лабораторных работ.

Тема 2. Принципы управления преобразователями частоты.

Лекция 3. Скалярное управление: управление в разомкнутой системе; управление в замкнутой системе: с коррекцией (или компенсацией) скольжения; двухконтурная система с регуляторами скорости и момента. (2 часа).

Лекция 4. Особенности векторного управления (Vector Control-VC). Векторная диаграмма переменных асинхронной машины при ориентации системы координат по потокосцепле-

нию ротора. Разновидность векторного принципа управления - прямое управление моментом (Direct Torque Control – DTC). (2 часа).

Практическое занятие 1. Компьютерное моделирование вариантов частотно-регулируемых электроприводов. Система скалярного частотно-регулируемого электропривода (ЧРП) с моделью асинхронного двигателя (АД) в ортогональных неподвижных осях. Система скалярного ЧРП с контурами скорости и положения и моделью АД в ортогональных неподвижных осях (2 часа).

Практическое занятие 2. Компьютерное моделирование вариантов частотно-регулируемых электроприводов. Система с частотно-токовым векторным управлением с косвенной ориентацией по полю и регуляторами токов, выполненными в неподвижных осях. Исследование спектра фазных, линейных напряжений и токов в системе частотно-токового векторного управления АД с прямой ориентацией по вектору $\bar{\psi}_2$ с регуляторами токов, выполненными во вращающихся осях (2 часа).

Практическое занятие 3. Компьютерное моделирование вариантов частотно-регулируемых электроприводов. Следящая система на основе частотно-регулируемого привода с векторным управлением, учитывающая изменение момента инерции механизма. Система векторного ЧРП с моделью АД в ортогональных неподвижных осях. Система скалярного ЧРП с моделью АД в ортогональных осях, вращающихся синхронно с полем (2 часа).

Практическое занятие 4. Компьютерное моделирование вариантов частотно-регулируемых электроприводов. Блок релейной замкнутой ШИМ, управляющий мостовым IGBT-инвертором с активно-индуктивной нагрузкой. Система скалярного ЧРП с моделью АД в реальной трехфазной системе. Система векторного ЧРП с моделью АД в реальной трехфазной системе.

Практическое занятие 5. Компьютерное моделирование вариантов частотно-регулируемых электроприводов. Система скалярного ЧРП с АД в ортогональных неподвижных осях и IR -компенсацией. Система скалярного ЧРП с АД в ортогональных неподвижных осях и нелинейной IR -компенсацией (2 часа).

Лабораторная работа 3. Изучение принципов работы, отладка технологических циклов на лабораторном стенде с частотно-регулируемыми асинхронными электроприводами LG и промышленным ПЛК типа «alpha-2» (4 часа).

Лабораторная работа 4. Программирование промышленных прикладных логических контроллеров MELSEC FX2N-16MR на языке релейно-контакторных схем, « α -2» на языке функциональных блоков (4 часа).

Самостоятельная работа 2. Подготовка к выполнению и защите лабораторной работе № 3 и № 4 (изучение методических указаний, предварительная проработка технологического цикла) (10 часов). Подготовка к практическим занятиям № 1 - № 5 (10 часов). Выполнение расчетно-графической работы на тему «Моделирование динамики систем частотно-регулируемого электропривода (ЧРП)» (16 часов) (всего к теме №2 – 36 часов).

Текущий контроль – устный опрос при проведении допуска к лабораторным работам, защите лабораторных работ, консультированию и защите расчетно-графической работы.

Тема 3. Принципы широтно-импульсной модуляции (ШИМ) выходного напряжения инвертора.

Лекция 5. Формирование аппаратной ШИМ. Формирование симметричной синусоидальной ШИМ цифровым способом. Цифровые векторные (симплексные) ШИМ (2 часа).

Практическое занятие 6. Расчет статических характеристик частотно-регулируемого электропривода при стабилизации различных потокосцеплений в соответствии со схемой замещения частотно-регулируемого асинхронного электропривода (2 часа).

Самостоятельная работа 2. Подготовка к практическому занятию № 6 (всего к теме №3 – 2 часа).

Текущий контроль – устный опрос по теме при подготовке к практическому занятию.

Тема 4. Многоуровневые схемы преобразователей частоты. Высоковольтные варианты частотно-регулируемых электроприводов.

Лекция 6. Целесообразность использования многоуровневых схем ПЧ. Многоуровневые АИН. Компромиссный четырехуровневый вариант. (2 часа).

Лекция 7. Алгоритмы управления четырехуровневым АИН с фиксирующими диодами. Определение принадлежности желаемого вектора управления конкретному симплексу. Формирование необходимых уравнений для относительных длительностей действия каждого из трех управляющих векторов. Получаемые преимущества многоуровневых АИН в сравнении с двухуровневым прототипом. (2 часа).

Текущий контроль – устный опрос по теме пройденному лекционному материалу.

Тема 5. Квазичастотное управление асинхронного двигателя.

Лекция 8. Основные принципы квазичастотного управления. Механические характеристики при квазичастотном управлении. Практически важные зависимости изменения сигнала управления выпрямителем при КЧУ, сигнала блокировки преобразователя. (2 часа).

Текущий контроль – устный опрос по теме по пройденному лекционному материалу.

Тема 6. Варианты практических решений частотно-регулируемых электроприводов. Анализ и моделирование.

Лекция 9. Скалярное «шестишаговое» (six-step) управление с управляемым выпрямителем и АИН. Электропривод с векторным управлением и прямой ориентацией по полю. Электропривод с «прямым» управлением моментом. (2 часа).

Практическое занятие 7. Компьютерное моделирование вариантов частотно-регулируемых электроприводов. Система скалярного частотно-токового управления модулем тока статора (2 часа).

Практическое занятие 8. Компьютерное моделирование вариантов частотно-регулируемых электроприводов. Система частотно-токового векторного управления АД с прямой ориентацией по вектору $\bar{\psi}_2$ с регуляторами токов, выполненными во вращающихся осях.

Практическое занятие 9. Компьютерное моделирование вариантов частотно-регулируемых электроприводов. Система частотно-токового векторного управления АД с прямой ориентацией по вектору $\bar{\psi}_2$ и прямым управлением моментом АД (2 часа).

Самостоятельная работа 3. Подготовка к практическим занятиям № 7 - № 9 (6 часов).

Текущий контроль – устный опрос по теме при подготовке к практическим занятиям.

Дополнительная тема на СРС.

Позиционный электропривод (сервопривод) с частотным преобразователем и контуром положения. Используемые датчики и технические решения.

Самостоятельная работа 4. Самостоятельное изучение указанной темы (2 часа).

Текущий контроль – устный опрос по дополнительной теме СРС.

На практических занятиях (18 часов) используется бригадный метод выполнения задания с разграничением функциональных обязанностей студента при выполнении задания по моделированию – анализ исходных данных, проработка схемы построения модели, выбор технологии моделирования, расчет параметров регуляторов и контуров регулирования, возможная оптимизация. Затем усилия объединяются, и организуется активный диалог студентов с преподавателем и между собой для подведения итогов решения задания и практической реализации модели).

Промежуточная аттестация по дисциплине: экзамен

Изучение дисциплины заканчивается экзаменом. Экзамен проводится в соответствии с Положением о зачетной и экзаменационной сессиях в НИУ МЭИ и инструктивным письмом от 14.05.2012 г. № И-23.

5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

Для обеспечения самостоятельной работы разработаны:
демонстрационные слайды лекций по дисциплине,
методические указания по самостоятельной работе при подготовке к практическим занятиям и лабораторным работам, выполнении расчетно-графической работы (см. Приложение к РПД),

6. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

6.1 Перечень компетенций с указанием этапов их формирования

При освоении дисциплины формируются следующие компетенции: ПК-8.

Указанные компетенции формируются в соответствии со следующими этапами:

1. Формирование и развитие теоретических знаний, предусмотренных указанными компетенциями (лекционные занятия, самостоятельная работа студентов).
2. Приобретение и развитие практических умений, предусмотренных компетенциями (практические занятия, лабораторные работы, самостоятельная работа студентов).
3. Закрепление теоретических знаний, умений и практических навыков, предусмотренных компетенциями, в ходе защит лабораторных работ, а также решения конкретных технических задач на практических занятиях, успешной сдачи экзамена.

6.2 Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описания шкал оценивания

Сформированность компетенции в рамках освоения данной дисциплины оценивается по трехуровневой шкале:

- пороговый уровень является обязательным для всех обучающихся по завершении освоения дисциплины;
- продвинутый уровень характеризуется превышением минимальных характеристик сформированности компетенции по завершении освоения дисциплины;
- эталонный уровень характеризуется максимально возможной выраженностью компетенции и является важным качественным ориентиром для самосовершенствования.

При достаточном качестве освоения более 80% приведенных знаний, умений и навыков преподаватель оценивает освоение данной компетенции в рамках настоящей дисциплины на эталонном уровне, при освоении более 60% приведенных знаний, умений и навыков – на продвинутом, при освоении более 40% приведенных знаний, умений и навыков - на пороговом уровне. В противном случае компетенция в рамках настоящей дисциплины считается неосвоенной.

Уровень сформированности каждой компетенции на различных этапах ее формирования в процессе освоения данной дисциплины оценивается в ходе текущего контроля успеваемости и представлен различными видами оценочных средств.

Для оценки сформированности в рамках данной дисциплины компетенции ПК-8 «способность применять методы создания и анализа моделей, позволяющих прогнозировать свойства и поведение объектов профессиональной деятельности» преподавателем оценивается содержатель-

ная сторона и качество материалов, приведенных в отчетах студента по лабораторным работам, практическим занятиям, расчетно-графическим работам. Учитываются также ответы студента на вопросы по соответствующим видам занятий при текущем контроле – устных опросах, защитах лабораторных работ и расчетно-графических работ, ответах на практических занятиях.

Принимается во внимание **знания** обучающимися:

- основных принципов частотного регулирования в скалярной и векторной форме;
- схемотехники силовых частей и теоретических основ построения систем управления частотно-регулируемых электроприводов;
- вариантов построения замкнутых систем частотно-регулируемых электроприводов.

наличие **умения**:

- пользоваться методами построения датчиковых и бездатчиковых систем частотно-регулируемого электропривода с идентификацией параметров и состояния объекта управления – асинхронного (синхронного) электродвигателя;

присутствие **навыка**:

- расчета и моделирования систем асинхронных и синхронных частотно-регулируемых электроприводов.

Критерии оценивания уровня сформированности компетенции в процессе выполнения и защиты лабораторных работ, расчетно-графических работ, в результате выполнения заданий на практических занятиях.

Критерии оценивания уровня сформированности компетенции ПК-8 «способность применять методы создания и анализа моделей, позволяющих прогнозировать свойства и поведение объектов профессиональной деятельности» в процессе защиты лабораторных работ, как формы текущего контроля. На защите соответствующих лабораторных работ (методические указания: «Рожков, В.В. Применение частотно-регулируемого электропривода. Методические рекомендации по изучению курса «Частотно-регулируемый электропривод» [Текст]: методические рекомендации / В.В. Рожков. – Смоленск: РИО филиала МЭИ в г. Смоленске, 2012. – 64 с.») задается 2 вопроса из примерного перечня:

1. Назовите виды схем замещения асинхронного двигателя. Что собой представляет схема замещения?
2. Нарисуйте схему замещения асинхронного двигателя и обозначьте входящие в нее параметры.
3. К какому режиму работы двигателя относятся параметры, приведенные в каталогах по асинхронным машинам.
4. Назовите методики расчета параметров схемы замещения частотно-регулируемого асинхронного двигателя.
5. Как можно проверить правильность расчета параметров схемы замещения?
6. В каких вариантах частотного управления могут работать преобразователи частоты, представленные на лабораторных стендах?
7. Приведите примеры базовых параметров (основных настроек) преобразователей частоты.
8. Опишите технологию проектирования технологического цикла с использованием промышленного программируемого логического контроллера (ПЛК) по заданной тахограмме механизма.
9. Опишите технологию пуска электродвигателя и работы на заданной установившейся скорости для ЧРП от аналогового сигнала, формируемого внешним потенциометром.
10. Опишите технологию пуска электродвигателя и работы на заданной установившейся скорости для ЧРП от внешних многофункциональных клемм с использованием ПЛК.
11. Приведите примеры основных элементов программного обеспечения контроллера, программируемого на языке релейно-контактных схем и на языке «функциональных блоков».

12. Что собой представляет блок логических функций для контроллера, программируемого на языке релейно-контактных схем и на языке «функциональных блоков»?

Полный ответ на один вопрос соответствует пороговому уровню сформированности компетенции на данном этапе ее формирования, полный ответ на один и частичный ответ на второй – продвинутому уровню; при полном ответе на два вопроса – эталонному уровню).

Критерии оценивания уровня сформированности компетенции ПК-8 «способность применять методы создания и анализа моделей, позволяющих прогнозировать свойства и поведение объектов профессиональной деятельности» в процессе защиты расчетно-графической работы, как формы текущего контроля.

В процессе защиты расчетно-графической работы «Моделирование динамики систем частотно-регулируемого электропривода (ЧРП)» (методические указания к выполнению расчетно-графической работы представлены в приложении 2) студентам задается 2 вопроса из следующего примерного перечня:

1. Что собой представляют блоки фазных и координатных преобразований $abc \rightarrow \alpha\beta$; $\alpha\beta \rightarrow dq \rightarrow xy$?
2. Охарактеризуйте результаты моделирования при прямом пуске асинхронного двигателя и при частотном пуске.
3. Назовите основные компоненты скалярной системы управления для частотно-регулируемого электропривода.
4. Назовите основные компоненты векторной системы управления для частотно-регулируемого электропривода.
5. Для чего служит блок компенсации в «классической» векторной системе управления?
6. Как выделяется информация о модуле потокосцепления ротора асинхронного двигателя при расчете и моделировании?
7. В чем принципиальное отличие векторных систем с прямой и косвенной ориентацией по полю двигателя?
8. Для чего необходима IR-компенсация?
9. В каких системах координат можно строить модель асинхронного электродвигателя?
10. Как рассчитываются параметры регулятора скорости (потокосцепления, составляющих тока статора) при настройке системы регулирования на «модульный оптимум».

Полный ответ на один вопрос соответствует пороговому уровню сформированности компетенции на данном этапе ее формирования, полный ответ на один и частичный ответ на второй – продвинутому уровню; при полном ответе на два вопроса – эталонному уровню).

Критерии оценивания уровня сформированности компетенции ПК-8 «способность применять методы создания и анализа моделей, позволяющих прогнозировать свойства и поведение объектов профессиональной деятельности» в результате выполнения заданий на практических занятиях.

Оценивается активность работы студента на практических занятиях, глубина ответов студента «у доски» при устных опросах в процессе выполнения заданий к каждому практическому занятию.

Способность называть при устном ответе основные законы, приводить простейшие соотношения частотного регулирования, определять типы регуляторов при заданной структуре системы управления и заданных технологических требованиях соответствует пороговому уровню сформированности компетенции на данном этапе ее формирования, в дополнение к пороговому самостоятельно задавать структуру скалярной и векторной систем управления – соответствует продвинутому уровню; в дополнение к продвинутому способен рассчитывать параметры регуляторов, синтезировать полную схему модели – соответствует эталонному уровню).

Сформированность уровня компетенции не ниже порогового является основанием для допуска обучающегося к промежуточной аттестации по данной дисциплине.

Формой промежуточной аттестации по данной дисциплине является экзамен, оцениваемый по принятой в НИУ «МЭИ» четырехбалльной системе: "отлично", "хорошо", "удовлетворительно", "неудовлетворительно".

Экзамен по дисциплине «Частотно-регулируемый электропривод» проводится в устной форме.

Критерии оценивания (в соответствии с инструктивным письмом НИУ МЭИ от 14 мая 2012 года № И-23):

Оценки «отлично» заслуживает студент, обнаруживший всестороннее, систематическое и глубокое знание материалов изученной дисциплины, умение свободно выполнять задания, предусмотренные программой, усвоивший основную и знакомый с дополнительной литературой, рекомендованной рабочей программой дисциплины; проявивший творческие способности в понимании, изложении и использовании материалов изученной дисциплины, безупречно ответившему не только на вопросы билета, но и на дополнительные вопросы в рамках рабочей программы дисциплины, правильно выполнившему практические задание

Оценки «хорошо» заслуживает студент, обнаруживший полное знание материала изученной дисциплины, успешно выполняющий предусмотренные задания, усвоивший основную литературу, рекомендованную рабочей программой дисциплины; показавшему систематический характер знаний по дисциплине, ответившему на все вопросы билета, правильно выполнившему практические задание, но допустившему при этом принципиальные ошибки.

Оценки «удовлетворительно» заслуживает студент, обнаруживший знание материала изученной дисциплины в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по профессии, справляющийся с выполнением заданий, знакомы с основной литературой, рекомендованной рабочей программой дисциплины; допустившим погрешность в ответе на теоретические вопросы и/или при выполнении практических заданий, но обладающий необходимыми знаниями для их устранения под руководством преподавателя, либо неправильно выполнившему практическое задание, но по указанию преподавателя выполнившим другие практические задания из того же раздела дисциплины.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, обнаружившему серьезные пробелы в знаниях основного материала изученной дисциплины, допустившему принципиальные ошибки в выполнении заданий, не ответившему на все вопросы билета и дополнительные вопросы и неправильно выполнившему практическое задание (неправильное выполнение только практического задания не является однозначной причиной для выставления оценки «неудовлетворительно»). Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение по образовательной программе без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине (формирования и развития компетенций, закреплённых за данной дисциплиной). Оценка «неудовлетворительно» выставляется также, если студент: после начала экзамена отказался его сдавать или нарушил правила сдачи экзамена (списывал, подсказывал, обманом пытался получить более высокую оценку и т.д.

В зачетную книжку студента и приложение к диплому выносится оценка экзамена по дисциплине за 2 семестр.

6.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы

Вопросы по формированию и развитию теоретических знаний, предусмотренных компетенциями, закрепленными за дисциплиной (примерные вопросы по лекционному материалу дисциплины):

1. Идеи регулирования координат асинхронного (синхронного) электропривода частотным способом.
2. Основные функциональные устройства преобразователей частоты (выпрямители, инверторы).
3. Примеры схем силовых частей преобразователей частоты (ПЧ).
4. Характеристика скалярного управления ПЧ.
5. Характеристика и особенности векторного управления ПЧ. Математическая основа. Общая структура.
6. Характеристика и особенности прямого управления моментом асинхронного двигателя (АД). Математическая основа. Принципы.
7. Системы прямого управления моментом АД. Диаграмма переключений вектора потокосцепления статора и вектора момента. Секторы для формирования вектора управления.
8. Системы прямого управления моментом АД. Оптимальные переключения. Таблица. Результирующая структура системы прямого управления моментом.
9. Широтно-импульсная модуляция (ШИМ). Формирование. Виды ШИМ.
10. Формирование синусоидальной ШИМ цифровым способом. Представление мостового инвертора тремя двухпозиционными ключами. Диаграммы формирования команд состояния ключей инвертора.
11. Формирование синусоидальной ШИМ цифровым способом. Симплексные методы управления автономным инвертором напряжения (АИН).
12. Математическое описание АД при частотном управлении. Уравнения АД для мгновенных значений переменных.
13. Механические характеристики АД при частотном управлении. Схема замещения АД для статического режима.
14. Механические характеристики АД при частотном управлении. Векторные диаграммы АД при питании от источника напряжения и источника тока.
15. Механические характеристики АД при частотном управлении. Система с регулированием напряжения
 $U_R / f_1 = \psi_2$ (стабилизация ψ_2).
16. Механические характеристики АД при частотном управлении. Система с регулированием напряжения
 $U_\mu / f_1 = \psi_\mu$ (стабилизация ψ_μ).
17. Механические характеристики АД при частотном управлении. Система с регулированием напряжения
 $U_s / f_1 = \psi_1$ (стабилизация ψ_1).
18. Механические характеристики АД при частотном управлении. Система с регулированием напряжения U_1 / f_1 и IR-компенсацией.
19. Частотное управление в замкнутых системах асинхронного электропривода. Системы с линейной и нелинейной IR-компенсацией.
20. Частотное управление в замкнутых системах асинхронного электропривода. Системы с косвенной ориентацией по полю АД. Примеры.

21. Частотное управление в замкнутых системах асинхронного электропривода. Системы с прямой ориентацией по полю АД. Примеры.
22. Многоуровневые варианты ПЧ. Виды многоуровневых АИН. Способы управления.
23. Многоуровневые варианты ПЧ. Алгоритмы управления четырехуровневым автономным инвертором напряжения (АИН) с фиксирующими диодами. Обобщенный вектор управления.
24. Многоуровневые варианты ПЧ. Алгоритмы управления четырехуровневым АИН с фиксирующими диодами. Алгоритмы управления четырехуровневым АИН с фиксирующими диодами. Цифровые алгоритмы управления.
25. Многоуровневые варианты ПЧ. Алгоритмы управления четырехуровневым АИН с фиксирующими диодами. Формирование необходимых уравнений для относительных длительностей действия каждого из трех управляющих векторов.

Вопросы по приобретению и развитие практических умений, предусмотренных компетенциями, закрепленными за дисциплиной
(примеры вопросов к практическим занятиям, лабораторным работам)

1. Назовите виды схем замещения асинхронного двигателя. Что собой представляет схема замещения?
2. Нарисуйте схему замещения асинхронного двигателя и обозначьте входящие в нее параметры.
3. К какому режиму работы двигателя относятся параметры, приведенные в каталогах по асинхронным машинам.
4. Назовите методики расчета параметров схемы замещения частотно-регулируемого асинхронного двигателя.
5. Как можно проверить правильность расчета параметров схемы замещения?
6. В каких вариантах частотного управления могут работать преобразователи частоты, представленные на лабораторных стендах?
7. Приведите примеры базовых параметров (основных настроек) преобразователей частоты.
8. Опишите технологию проектирования технологического цикла с использованием промышленного программируемого логического контроллера (ПЛК) по заданной тахограмме механизма.
9. Опишите технологию пуска электродвигателя и работы на заданной установившейся скорости для ЧРП от аналогового сигнала, формируемого внешним потенциометром.
10. Опишите технологию пуска электродвигателя и работы на заданной установившейся скорости для ЧРП от внешних многофункциональных клемм с использованием ПЛК.
11. Приведите примеры основных элементов программного обеспечения контроллера, программируемого на языке релейно-контактных схем и на языке «функциональных блоков».
12. Что собой представляет блок логических функций для контроллера, программируемого на языке релейно-контактных схем и на языке «функциональных блоков»?
13. Что собой представляют блоки фазных и координатных преобразований $abc \rightarrow \alpha\beta$; $\alpha\beta \rightarrow dq \rightarrow xy$?
14. Охарактеризуйте результаты моделирования при прямом пуске асинхронного двигателя и при частотном пуске.
15. Назовите основные компоненты скалярной системы управления для частотно-регулируемого электропривода.
16. Назовите основные компоненты векторной системы управления для частотно-регулируемого электропривода.

17. Для чего служит блок компенсации в «классической» векторной системе управления?
18. Как выделяется информация о модуле потокосцепления ротора асинхронного двигателя при расчете и моделировании?

Вопросы по закреплению теоретических знаний, умений и практических навыков, предусмотренных компетенциями (вопросы к экзамену)

Первый вопрос в экзаменационном билете студента – вопрос по лекционному материалу (вопр.1-25). Второй вопрос – задача на тему, близкую к разбираемым на практических занятиях и в процессе выполнения расчетно-графической работы (вопр.26-45).

1. Идеи регулирования координат асинхронного (синхронного) электропривода частотным способом.
2. Основные функциональные устройства преобразователей частоты (выпрямители, инверторы).
3. Примеры схем силовых частей преобразователей частоты (ПЧ).
4. Характеристика скалярного управления ПЧ.
5. Характеристика и особенности векторного управления ПЧ. Математическая основа. Общая структура.
6. Характеристика и особенности прямого управления моментом асинхронного двигателя (АД). Математическая основа. Принципы.
7. Системы прямого управления моментом АД. Диаграмма переключений вектора потокосцепления статора и вектора момента. Секторы для формирования вектора управления.
8. Системы прямого управления моментом АД. Оптимальные переключения. Таблица. Результирующая структура системы прямого управления моментом.
9. Широтно-импульсная модуляция (ШИМ). Формирование. Виды ШИМ.
10. Формирование синусоидальной ШИМ цифровым способом. Представление мостового инвертора тремя двухпозиционными ключами. Диаграммы формирования команд состояния ключей инвертора.
11. Формирование синусоидальной ШИМ цифровым способом. Симплексные методы управления автономным инвертором напряжения (АИН).
12. Математическое описание АД при частотном управлении. Уравнения АД для мгновенных значений переменных.
13. Механические характеристики АД при частотном управлении. Схема замещения АД для статического режима.
14. Механические характеристики АД при частотном управлении. Векторные диаграммы АД при питании от источника напряжения и источника тока.
15. Механические характеристики АД при частотном управлении. Система с регулированием напряжения (стабилизация потокосцепления ротора).
16. Механические характеристики АД при частотном управлении. Система с регулированием напряжения (стабилизация потокосцепления статора).
17. Механические характеристики АД при частотном управлении. Система с регулированием напряжения (стабилизация потокосцепления намагничивания).
18. Механические характеристики АД при частотном управлении. Система с регулированием напряжения и IR-компенсацией.
19. Частотное управление в замкнутых системах асинхронного электропривода. Системы с линейной и нелинейной IR-компенсацией.
20. Частотное управление в замкнутых системах асинхронного электропривода. Системы с косвенной ориентацией по полю АД. Примеры.

21. Частотное управление в замкнутых системах асинхронного электропривода. Системы с прямой ориентацией по полю АД. Примеры.
22. Многоуровневые варианты ПЧ. Виды многоуровневых АИН. Способы управления.
23. Многоуровневые варианты ПЧ. Алгоритмы управления четырехуровневым автономным инвертором напряжения (АИН) с фиксирующими диодами. Обобщенный вектор управления.
24. Многоуровневые варианты ПЧ. Алгоритмы управления четырехуровневым АИН с фиксирующими диодами. Алгоритмы управления четырехуровневым АИН с фиксирующими диодами. Цифровые алгоритмы управления.
25. Многоуровневые варианты ПЧ. Алгоритмы управления четырехуровневым АИН с фиксирующими диодами. Формирование необходимых уравнений для относительных длительностей действия каждого из трех управляющих векторов.
26. Привести расчетный алгоритм и схему модели. Система скалярного ЧРП с моделью АД в ортогональных неподвижных осях
27. Привести расчетный алгоритм и схему модели. Система скалярного ЧРП с контурами скорости и положения и моделью АД в ортогональных неподвижных осях
28. Привести расчетный алгоритм и схему модели. Система с частотно-токовым векторным управлением с косвенной ориентацией по полю и регуляторами токов, выполненными в неподвижных осях
29. Привести расчетный алгоритм и схему модели. Исследование спектра фазных, линейных напряжений и токов в системе частотно-токового векторного управления АД с прямой ориентацией по вектору с регуляторами токов, выполненными во вращающихся осях.
30. Привести расчетный алгоритм и схему модели. Система векторного ЧРП с моделью АД в ортогональных неподвижных осях
31. Привести расчетный алгоритм и схему модели. Система скалярного ЧРП с моделью АД в ортогональных осях, вращающихся синхронно с полем
32. Привести расчетный алгоритм и схему модели. Блок релейной замкнутой ШИМ, управляющий мостовым IGBT-инвертором с активно-индуктивной нагрузкой.
33. Привести расчетный алгоритм и схему модели. Система скалярного ЧРП с моделью АД в реальной трехфазной системе.
34. Привести расчетный алгоритм и схему модели. Система векторного ЧРП с моделью АД в реальной трехфазной системе.
35. Привести расчетный алгоритм и схему модели. Система скалярного ЧРП с АД в ортогональных неподвижных осях и IR-компенсацией.
36. Привести расчетный алгоритм и схему модели. Система скалярного ЧРП с АД в ортогональных неподвижных осях и нелинейной IR-компенсацией.
37. Привести расчетный алгоритм и схему модели. Позиционная система на основе частотно-регулируемого привода с векторным управлением, обеспечивающая «дотягивание» рабочего органа механизма при нахождении его в зоне точной остановки.
38. Привести расчетный алгоритм и схему модели. Система с частотно-токовым векторным управлением с косвенной ориентацией по полю и регуляторами токов, выполненными в осях, вращающихся синхронно с полем.
39. Привести расчетный алгоритм и схему модели. Система скалярного частотно-токового управления модулем тока статора.
40. Привести расчетный алгоритм и схему модели. Система частотно-токового векторного управления АД с прямой ориентацией по вектору потокосцепления ротора с регуляторами токов, выполненными во вращающихся осях.
41. Привести расчетный алгоритм и схему модели. Система частотно-токового векторного управления АД с прямой ориентацией по вектору потокосцепления ротора с прямым управлением моментом АД

42. Привести расчетный алгоритм и схему модели. Система частотно-токового векторного управления АД с прямой ориентацией по вектору потокосцепления ротора с прямым управлением моментом АД
43. Привести расчетный алгоритм и схему модели. Следящая система на основе частотно-регулируемого привода с векторным управлением с обработкой сигнала генератора траектории.
44. Привести расчетный алгоритм и схему модели. Система векторного ЧРП с моделью АД в ортогональных осях, вращающихся синхронно с полем.
45. Привести расчетный алгоритм и схему модели. Система идентификации потокосцеплений ротора при условии постоянства момента двигателя.

6.4 Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций

Процедуры оценивания знаний, умений, навыков, характеризующих этапы формирования компетенций, изложены в методических рекомендациях по изучению курса «Частотно-регулируемый электропривод», в которые входят методические рекомендации к выполнению и защите лабораторных работ, по выполнению РГР и заданий на самостоятельную работу (приложение к настоящей РПД).

7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

а) основная литература

1. Соколовский, Г. Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием : учебник для вузов / Г. Г. Соколовский . – М. : АКАДЕМИЯ, 2006 . – 272 с. – (Высшее профессиональное образование).
2. Крылов Ю. А. Энергосбережение и автоматизация производства в теплоэнергетическом хозяйстве города. Частотно-регулируемый электропривод [электронный ресурс] / Крылов Ю. А., Карандаев А. С., Медведев В. Н. — Электронные текстовые данные. СПб. : Лань, 2013. — 176 с. Режим доступа: <http://e.lanbook.com/view/book/10251/>.
3. Рожков, В.В. Применение частотно-регулируемого электропривода. Методические рекомендации по изучению курса «Частотно-регулируемый электропривод» [Текст]: методические рекомендации / В.В. Рожков. – Смоленск: РИО филиала МЭИ в г. Смоленске, 2012. – 64 с.

б) дополнительная литература

1. Браславский, Исаак Яковлевич. Энергосберегающий асинхронный электропривод : учеб.пособие для вузов / И. Я. Браславский, З. Ш. Ишматов, В. Н. Поляков ; под ред. И. Я. Браславского .— М. : Академия, 2004 .— 248 с. : ил. — (Высшее профессиональное образование) .— ISBN 5-7695-1704-2 : 128.57.

8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» необходимых для освоения дисциплины

1. Г. Лазарев. Высоковольтные преобразователи для частотно-регулируемого электропривода. Построение различных систем [электронный ресурс]. Новости электротехники. Информационно-справочное издание. Режим доступа: <http://www.news.elteh.ru/arh/2005/32/10.php>
2. Е. Тетяев, А. Волегов. Частотно-регулируемый электропривод подъемно-транспортных механизмов [электронный ресурс]. Силовая электроника №4, 2007. Режим доступа: http://www.power-e.ru/2007_4_40.php

9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Дисциплина предусматривает лекции один раз в неделю, практические занятия каждую неделю и четыре четырехчасовые лабораторные работы с двумя часами на защиту. Изучение курса завершается экзаменом).

Успешное изучение курса требует посещения лекций, активной работы на практических занятиях и лабораторных работах, выполнения всех учебных заданий преподавателя, ознакомления с основной и дополнительной литературой.

Во время лекции студент должен вести краткий конспект.

Работа с конспектом лекций предполагает просмотр конспекта в тот же день после занятий. При этом необходимо пометить материалы конспекта, которые вызывают затруднения для понимания. При этом обучающийся должен стараться найти ответы на затруднительные вопросы, используя рекомендуемую литературу. Если ему самостоятельно не удалось разобраться в материале, необходимо сформулировать вопросы и обратиться за помощью к преподавателю на консультации или ближайшей лекции.

Обучающемуся необходимо регулярно отводить время для повторения пройденного материала, проверяя свои знания, умения и навыки по контрольным вопросам.

Практические (семинарские) занятия составляют важную часть профессиональной подготовки студентов. Основная цель проведения практических (семинарских) занятий - формирование у студентов аналитического, творческого мышления путем приобретения практических навыков.

Методические указания к практическим (семинарским) занятиям по дисциплине наряду с рабочей программой и графиком учебного процесса относятся к методическим документам, определяющим уровень организации и качества образовательного процесса.

Содержание практических (семинарских) занятий фиксируется в РПД в разделе 4 настоящей программы.

Важнейшей составляющей любой формы практических занятий являются упражнения (задания). Основа в упражнении - пример, который разбирается с позиций теории, развитой в лекции. Как правило, основное внимание уделяется формированию конкретных умений, навыков, что и определяет содержание деятельности студентов - решение задач, графические работы, уточнение категорий и понятий науки, являющихся предпосылкой правильного мышления и речи.

Практические (семинарские) занятия выполняют следующие задачи:

- стимулируют регулярное изучение рекомендуемой литературы, а также внимательное отношение к лекционному курсу;
- закрепляют знания, полученные в процессе лекционного обучения и самостоятельной работы над литературой;
- расширяют объем профессионально значимых знаний, умений, навыков;
- позволяют проверить правильность ранее полученных знаний;
- прививают навыки самостоятельного мышления, устного выступления;
- способствуют свободному оперированию терминологией;
- предоставляют преподавателю возможность систематически контролировать уровень самостоятельной работы студентов.

При подготовке к **практическим занятиям** необходимо просмотреть конспекты лекций и методические указания, рекомендованную литературу по данной теме; подготовиться к ответу на контрольные вопросы.

В ходе выполнения индивидуального задания практического занятия студент готовит отчет о работе (в программе MS Word или любом другом текстовом редакторе). В отчет заносятся результаты выполнения каждого пункта задания (схемы, диаграммы (графики), таблицы, расчеты, ответы на вопросы пунктов задания, выводы и т.п.). Примерный образец оформления отчета имеется у преподавателя.

За 10 мин до окончания занятия преподаватель проверяет объём выполненной на занятии работы и отмечает результат в рабочем журнале.

Оставшиеся невыполненными пункты задания практического занятия студент обязан доделать самостоятельно.

После проверки отчета преподаватель может проводить устный или письменный опрос студентов для контроля усвоения ими основных теоретических и практических знаний по теме занятия (студенты должны знать смысл полученных ими результатов и ответы на контрольные вопросы). По результатам проверки отчета и опроса выставляется оценка за практическое занятие.

Лабораторные работы составляют важную часть профессиональной подготовки студентов. Они направлены на экспериментальное подтверждение теоретических положений и формирование учебных и профессиональных практических умений.

Выполнение студентами лабораторных работ направлено на:

обобщение, систематизацию, углубление, закрепление полученных теоретических знаний по конкретным темам дисциплин;

формирование необходимых профессиональных умений и навыков;

Дисциплины, по которым планируются лабораторные работы и их объемы, определяются рабочими учебными планами.

Методические указания по проведению лабораторных работ разрабатываются на срок действия РПД (ПП) и включают:

заглавие, в котором указывается вид работы (лабораторная), ее порядковый номер, объем в часах и наименование;

цель работы;

предмет и содержание работы;

оборудование, технические средства, инструмент;

порядок (последовательность) выполнения работы;

правила техники безопасности и охраны труда по данной работе (по необходимости);

общие правила к оформлению работы;

контрольные вопросы и задания;

список литературы (по необходимости).

Содержание лабораторных работ фиксируется в РПД в разделе 4 настоящей программы.

При планировании лабораторных работ следует учитывать, что наряду с ведущей целью - подтверждением теоретических положений - в ходе выполнения заданий у студентов формируются практические умения и навыки обращения с лабораторным оборудованием, аппаратурой и пр., которые могут составлять часть профессиональной практической подготовки, а также исследовательские умения (наблюдать, сравнивать, анализировать, устанавливать зависимости, делать выводы и обобщения, самостоятельно вести исследование, оформлять результаты).

Состав заданий для лабораторной работы должен быть спланирован с таким расчетом, чтобы за отведенное время они могли быть качественно выполнены большинством студентов.

Необходимыми структурными элементами лабораторной работы, помимо самостоятельной деятельности студентов, являются инструктаж, проводимый преподавателем, а также организация обсуждения итогов выполнения лабораторной работы.

Выполнению лабораторных работ предшествует проверка знаний студентов – их теоретической готовности к выполнению задания.

Порядок проведения **лабораторных работ** в целом совпадает с порядком проведения практических занятий. Помимо собственно выполнения работы для каждой лабораторной работы предусмотрена процедура защиты, в ходе которой преподаватель проводит устный или письменный опрос студентов для контроля понимания выполненных ими измерений, правильной интерпретации полученных результатов и усвоения ими основных теоретических и практических знаний по теме занятия.

При подготовке к **экзамену** в дополнение к изучению конспектов лекций, учебных пособий и слайдов, необходимо пользоваться учебной литературой, рекомендованной к настоящей программе. При подготовке к экзамену нужно изучить теорию: определения всех понятий и подходы к оцениванию до состояния понимания материала и самостоятельно решить по нескольким типовым задачам из каждой темы. При решении задач всегда необходимо уметь качественно интерпретировать итог решения.

Самостоятельная работа студентов (СРС) по дисциплине играет важную роль в ходе всего учебного процесса. Методические материалы и рекомендации для обеспечения СРС готовятся преподавателем и выдаются студенту.

10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

При проведении **лекционных** занятий предусматривается использование систем мультимедиа.

При проведении **лабораторных работ** предусматривается использование систем мультимедиа и моделирования в MatLab.

11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Лекционные занятия:

Аудитория, оснащенная презентационной мультимедийной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук).

Практические занятия по данной дисциплине проводятся в аудитории, оснащенной мультимедийной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук).

Лабораторные работы по данной дисциплине проводятся в учебно-научно-исследовательской лаб. № 305 «Энергосберегающие технологии» (оснащена пятью лабораторными стендами с частотно-регулируемыми приводами и программируемыми технологическими контроллерами) и Б-111 «Системы управления электроприводов» (оснащена четырьмя лабораторными стендами с частотно-регулируемыми приводами и программируемыми технологическими контроллерами).

В основное оборудование указанных лабораторий входит оборудование, необходимое для проведения лабораторных работ по дисциплине «Частотно-регулируемый электропривод»:

персональные компьютеры, маломощные асинхронные электродвигатели 250-370 Вт типа MOTIVE 71A 2. АИР63В4У3 и 4ААМ63В2У3, преобразователи частоты Mitsubishi A700, CombiVario CV-730 EV, FR-E540-0.4 K-EC, ALTIVAR31 и LGig5RUS, программируемый логический контроллер Mitsubishi AL2-14MR-D 24 В со специальным кабелем для подключения к СОМ-

порту персонального компьютера, программируемый логический контроллер MELSEC FX2N-16MR.

Автор
канд. техн. наук, доцент



В.В. Рожков

Зав. кафедрой ЭМС
канд. техн. наук, доцент



В.В. Рожков

Программа одобрена на заседании кафедры от 28 августа 2015 года, протокол № 1.

ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

Но- мер изме- мене- ния	Номера страниц				Всего стра- ниц в доку- менте	Наименование и № документа, вводящего изменения	Подпись, Ф.И.О. внесшего измене- ния в данный эк- земпляр	Дата внесения из- менения в данный эк- земпляр	Дата введения из- менения
	изме- ме- нен- ных	заме- ме- нен- ных	но- вых	анну- лиро- ро- ванн- ых					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10