

**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
2016 г.

**Изменения и дополнения к
РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД

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**

Шифр дисциплины по учебному плану 2016/2017 уч. года: **соответствует
предыдущему УП**

Смоленск – 2016 г.

Раздел 1 соответствует исходной РПД.

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина относится к вариативной части дисциплин по выбору студента В.ДВ.3.1 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.4 «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:	180	3 семестр
Трудоемкость в зачетных единицах (ЗЕТ)	5	3 семестр
Лекции (ЗЕТ, часов)	1.0, 36	3 семестр
Практические занятия (ЗЕТ, часов)	-	3 семестр
Лабораторные работы (ЗЕТ, часов)	0.5, 18	3 семестр
Объем самостоятельной работы по учебному плану (ЗЕТ, часов всего)	2.5, 90	3 семестр
Экзамен (ЗЕТ, часов)	1, 36	3 семестр

Самостоятельная работа студентов

Вид работ	Трудоёмкость, ЗЕТ, час
Изучение материалов лекций (лк)	40/36, 40
Подготовка к практическим занятиям (пз)	-
Подготовка к выполнению и защите лабораторной работы (лаб)	26/36, 26
Выполнение расчетно-графической работы (реферата)	16/18, 16
Выполнение курсового проекта (работы)	-
Самостоятельное изучение дополнительных материалов дисциплины (СРС)	8/36, 8
Подготовка к контрольным работам	-
Подготовка к тестированию	-
Подготовка к зачету	-
Всего:	2.5, 90
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.	24	4		8	12	
2	Тема 2. Принципы управления преобразователями частоты.	66	14		8	44	10
3	Тема 3. Принципы широтно-импульсной модуляции (ШИМ) выходного напряжения инвертора.	12	4			8	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.	28	8		2	18	6
7	Дополнительная тема на СРС. Позиционный электропривод (сервопривод) с частотным преобразователем и контуром положения. Специальные конструктивные технологические решения для двигателей сервоприводов. Используемые датчики и их технические решения. Структуры замкнутых систем управления сервоприводов.	8				8	
всего 180 часов по видам учебных занятий (включая 36 часов на подготовку к экзамену)			36	-	18	90	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 элемен-

тах. 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. Изучение материалов лекций №1 и №2 (4 часа). Подготовка к выполнению и защите лабораторной работы № 1 и № 2 (изучение методических указаний, предварительная проработка технологического цикла) (8 часов) (всего к теме №1 – 12 часов).

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

Лекция 5. Управление преобразователями по схеме «Управляемый выпрямитель – автономный инвертор тока». (2 часа).

Лекция 6. Управление преобразователями по схеме «Неуправляемый выпрямитель - автономный инвертор напряжения» с коммутацией силовых ключей на частоте выходной сети инвертора. (2 часа).

Лекция 7. Особенности управления трехуровневым автономным инвертором напряжения с нейтральной точкой. (2 часа).

Лекция 8. Особенности синтеза двухконтурной системы подчиненного регулирования для двухканальных автономных инверторов напряжения с широтно-импульсной модуляцией. (2 часа).

Лекция 9. Цифровые алгоритмы управления автономным инвертором напряжения. (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. Самостоятельное изучение материалов лекций №3-№9 (18 часов). Подготовка к выполнению и защите лабораторных работ № 3 и № 4 (изучение методических указаний, предварительная проработка технологического цикла) (10 часов). Выполнение расчетно-графической работы на тему «Моделирование динамики систем частотно-регулируемого электропривода (ЧРП)» (16 часов) (всего к теме №2 – 44 часа).

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

Лекция 11. Принципы расчета статических характеристик частотно-регулируемого электропривода при стабилизации различных потокосцеплений в соответствии со схемой замещения частотно-регулируемого асинхронного электропривода (2 часа).

Самостоятельная работа 3. Подготовка к лекциям № 10, №11 (всего к теме №3 – 8 часов).

Текущий контроль – устный опрос по пройденному лекционному материалу.

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

Лекция 12. Целесообразность использования многоуровневых схем ПЧ. Многоуровневые АИН. Компромиссный четырехуровневый вариант. (2 часа).

Лекция 13. 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 пройденному лекционному материалу.

Тема 5. Квазичастотное управление асинхронного двигателя.

Лекция 14. 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 пройденному лекционному материалу.

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

Лекция 15. Скалярное «шестишаговое» (six-step) управление с управляемым выпрямителем и АИН. (2 часа).

Лекция 16. Электропривод с векторным управлением и прямой ориентацией по полю. (2 часа).

Лекция 17. Электропривод с «прямым» управлением моментом. (2 часа).

Лекция 18. Обзор изученного лекционного материала по дисциплине. Подведение итогов. (2 часа).

Лабораторная работа 5. Защиты выполненных лабораторных работ. Резервное время на зачетной неделе (2 часа).

Самостоятельная работа 4. Подготовка к защитах лабораторных работ (8 часов). Подготовка к лекциям № 15 - № 18 (10 часов). (всего к теме №6 – 18 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. Специальные конструктивные технологические решения для двигателей сервоприводов. Используемые датчики и их технические решения. Структуры замкнутых систем управления сервоприводов.

Самостоятельная работа 5. Самостоятельное изучение указанной темы (8 часов).

Текущий контроль – устный опрос по дополнительной теме СРС.

Интерактивные занятия. На 9-ти лекциях № 1,2, 3, 4, 10, 11, 15, 16, 17 (18 часов) используется интерактивный метод изложения с организацией дискуссии «преподаватель-студент».

Далее по тексту исходной РПД.

В зачетную книжку студента и приложение к диплому выносятся оценка экзамена по дисциплине за 3 семестр.

Далее по тексту исходной РПД.

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
$$\frac{U_s}{f_1} = \Psi_2 \text{ (стабилизация } \Psi_2 \text{)}$$
16. Механические характеристики АД при частотном управлении. Система с регулированием напряжения
$$\frac{U_m}{f_1} = \Psi_m \text{ (стабилизация } \Psi_m \text{)}$$

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_s/f_1 и IR-компенсацией.
19. Особенности формирования импульсов управления силовыми ключами в схеме «Управляемый выпрямитель – автономный инвертор тока».
20. Построение драйверов в канале управления силовыми ключами схемы «Управляемый выпрямитель – автономный инвертор тока».
21. Особенности формирования импульсов управления силовыми ключами в схеме «Неуправляемый выпрямитель - автономный инвертор напряжения» с коммутацией силовых ключей на частоте выходной сети инвертора.
22. Построение драйверов в канале управления силовыми ключами в схеме «Неуправляемый выпрямитель - автономный инвертор напряжения».
23. Особенности формирования импульсов управления силовыми ключами в схеме трехуровневого автономного инвертора по схеме с нейтральной точкой.
24. Построение драйверов в канале управления силовыми ключами в схеме трехуровневого автономного инвертора с нейтральной точкой.
25. Построение канала управления моментом в двухканальной схеме векторного частотного управления.
26. Построение канала управления потокосцеплением в двухканальной схеме векторного частотного управления.
27. Координатные и фазные преобразования в двухканальной схеме векторного частотного управления.
28. Особенности цифрового построения системы векторного частотного управления.
29. Симплексные алгоритмы управления ключами двухуровневого автономного инвертора напряжения. Разновидности и особенности.
30. Частотное управление в замкнутых системах асинхронного электропривода. Системы с линейной и нелинейной IR-компенсацией.
31. Частотное управление в замкнутых системах асинхронного электропривода. Системы с косвенной ориентацией по полю АД. Примеры.
32. Частотное управление в замкнутых системах асинхронного электропривода. Системы с прямой ориентацией по полю АД. Примеры.
33. Многоуровневые варианты ПЧ. Виды многоуровневых АИН. Способы управления.
34. Многоуровневые варианты ПЧ. Алгоритмы управления четырехуровневым автономным инвертором напряжения (АИН) с фиксирующими диодами. Обобщенный вектор управления.
35. Многоуровневые варианты ПЧ. Алгоритмы управления четырехуровневым АИН с фиксирующими диодами. Алгоритмы управления четырехуровневым АИН с фиксирующими диодами. Цифровые алгоритмы управления.
36. Многоуровневые варианты ПЧ. Алгоритмы управления четырехуровневым АИН с фиксирующими диодами. Формирование необходимых уравнений для относительных длительностей действия каждого из трех управляющих векторов.

Далее по тексту исходной РПД.

9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

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

Далее по тексту исходной РПД.

Автор
канд. техн. наук, доцент

В.В. Рожков

Зав. кафедрой ЭМС
канд. техн. наук, доцент

В.В. Рожков

Изменения и дополнения в РПД приняты на заседании кафедры ЭМС от 07.09.2016 года, протокол № 1.