

**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**

**ЭЛЕКТРОПРИВОД С ВЕНТИЛЬНЫМИ И ШАГОВЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ**

(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-9 «способностью выбирать серийные и проектировать новые объекты профессиональной деятельности».

В результате изучения дисциплины студент должен:

### **Знать:**

- основные принципы работы электроприводов с вентильными и шаговыми двигателями (ПК-9);
- схемотехнику силовых частей и теоретические основы построения систем управления электроприводов с вентильными и шаговыми двигателями (ПК-9);
- варианты построения цифровых управляющих устройств электроприводов с вентильными и шаговыми двигателями (ПК-9).

### **Уметь:**

- пользоваться методами выбора, синтеза и расчёта электроприводов с вентильными и шаговыми двигателями (ПК-9).

### **Владеть:**

- навыками моделирования и проектирования новых электроприводов с вентильными и шаговыми двигателями и цифровой системой управления (ПК-9).

## 2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина относится к вариативной части дисциплин по выбору В.ДВ.1.1 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 «Электропривод с вентильными и шаговыми двигателями» базируется на следующих дисциплинах:

- Б1.В.ОД.1 Элементы и схемотехника силовой электроники
- Б1.В.ОД.6 Регулирование координат электропривода

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

- Б1.Б.4 Экономика энергетики
- Б1.В.ДВ.1.2 Вентильно-индукторный электропривод

### 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.1.1	
Часов (всего) по учебному плану:	180	1 семестр
Трудоемкость в зачетных единицах (ЗЕТ)	5	1 семестр
Лекции (ЗЕТ, часов)	0,5, 18	1 семестр
Практические занятия (ЗЕТ, часов)	0,5, 18	1 семестр
Лабораторные работы (ЗЕТ, часов)	0,5, 18	1 семестр
Объем самостоятельной работы по учебному плану (ЗЕТ, часов всего)	2,5, 90	1 семестр
Экзамен (ЗЕТ, часов)	1, 36	1 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)	-
Выполнение курсового проекта (работы)	-
Самостоятельное изучение дополнительных материалов дисциплины (СРС)	1,5, 54
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. Принцип работы шагового привода. Основные понятия.	16	2	4		10	4
2	Тема 2. Теория электромагнетизма и структура ШД.	30	4	2	4	20	8

1	2	3	4	5	6	7	8
3	Тема 3. Динамические и механические характеристики.	32	4	4	4	20	8
4	Тема 4. Схемотехнические решения на элементах с разной степенью интеграции.	44	4	6	4	30	12
5	Тема 5. Вентильный и вентильно-индукторный электропривод (ВП и ВИП).	22	4	2	6	10	4
<b>всего 180 часа по видам учебных занятий (включая 36 часов на подготовку к экзамену)</b>			<b>18</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>90</b>	<b>36</b>

## Содержание по видам учебных занятий

### Тема 1. Принцип работы шагового привода. Основные понятия

**Лекция 1.** Введение. Развитие электромеханических преобразователей энергии непрерывного и дискретного действия. Статическая устойчивость. Анализ условий отработки шага. Двухтактные шаговые двигатели (ШД). Требования. Конструкция. Физическая модель ШД. Период собственных колебаний. Влияние жесткости характеристик. Постоянные времени. Уравнения движения ШД при учете электромагнитного взаимодействия при  $L=0$ . Формы записи (2 часа).

**Практическое занятие 1.** Характерные диапазоны частот управляющих команд с графическим анализом. Частота приемистости. Методы ограничения и устранения колебаний. Старт-стопное движение. Углы торможения и разгона. Функции управления. Методы ограничения и устранения колебаний. (2 часа).

**Практическое занятие 2.** Расчет граничных частот режима. Зависимость параметров движения от нагрузки. Предельные динамические характеристики. Баланс энергий. Оценка приемистости (2 часа).

**Самостоятельная работа 1.** Проработка лекционных теоретических положений с использованием основной и дополнительной литературы, подготовка к практическому занятию, дополнительная тема на СРС - изучение техники получения инженерных оценок характера движения шаговых приводов при различных начальных условиях (задание уточняется на лекции и практическом занятии) (всего к теме №1 – 10 часов).

**Текущий контроль** – устный опрос при проведении допуска к лабораторным работам, защита лабораторных работ, обмен информацией в интерактивной форме на лекционном занятии.

### Тема 2. Теория электромагнетизма и структура ШД.

**Лекция 2.** Анализ механизма возникновения момента в реактивном ШД. Анализ магнитных систем с бесконечной проницаемостью стали. Анализ магнитных систем с постоянной проницаемостью активного материала (2 часа).

**Лекция 3.** Влияние насыщения на характеристики ШД. Энергия и коэнергия. Описание магнитных систем ШД с учётом насыщения. (2 часа).

**Практическое занятие 3.** Оптимальное проектирование импульсных систем с учётом нелинейных характеристик магнитопровода. Влияние тока на моментно-угловую характеристику (2 часа).

**Лабораторная работа 1.** Шаговый электропривод. Старт-стопный режим управления (4 часа).

**Самостоятельная работа 2.** Подготовка к выполнению и защите лабораторной работе № 1: изучение методических указаний, дополнительная тема на СРС - составление программы

для цифрового контура регулирования. Язык программирования - Ассемблер (всего к теме №2 – 20 часов).

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

### **Тема 3. Динамические и механические характеристики.**

**Лекция 4.** Расчетная модель многополюсной системы активного ШД. Уравнения баланса напряжений. Уравнение движения. Линеаризация. Уравнения зависимостей токов и угла от параметров. Анализ соотношений (2 часа).

**Лекция 5.** Уравнения динамических характеристик для реактивного двигателя. Исходные уравнения. Линеаризация. Результирующие соотношения. Упрощения при выводе. Передаточные функции ШД. Однофазное возбуждение. Передаточные функции шаговых двигателей. Двухфазное возбуждение. Теория динамических характеристик. Одношаговая реакция. Анализ характеристических уравнений. Выбор оптимальных параметров (2 часа).

**Практическое занятие 4.** Механические характеристики ШД (2 часа).

**Практическое занятие 5.** Резонансы и неустойчивость (2 часа).

**Лабораторная работа 2.** Шаговый электропривод с электрическим дроблением шага (4 часа).

**Самостоятельная работа 3.** Подготовка к лабораторной работе №2: изучение методических указаний, дополнительная тема на СРС - составление программы для цифрового контура регулирования. Язык программирования – Ассемблер, подготовка к практическим занятиям № 4 - 5, (всего к теме №3 – 20 часов).

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

### **Тема 4. Схемотехнические решения на элементах с разной степенью интеграции.**

**Лекция 6.** Системы и схемы управления 4-х фазным шаговым приводом (ШП) без обратных связей. Логические блоки управления на базе JK-(D-) триггеров. Варианты включения. Коммутация парная (поочередная). Реверс. Системы и схемы управления 4-х фазным ШД. Логические блоки управления на базе счетчика-дешифратора. Анализ недостатков Включение сумматора (средняя степень интеграции). (2 часа).

**Лекция 7.** Системы и схемы управления ШД. Логические блоки. Схемы подключения к конвертору. Конвертор в шаговом электроприводе ШП. Схемы защит. Анализ. Задача уменьшения времени нарастания силового тока. Регулирование тока в ШП. Схема с ШИМ без стабилизации частоты. Анализ. Схемы с принудительной синхронизацией и со стабилизацией времени расфорсировки.

Регулирование тока в ШП. Выбор количества регуляторов. Временные диаграммы. Анализ быстродействия схем. Входной контроллер ШП. Старт-стопное управление. Отработка серии импульсов (2 часа).

**Практическое занятие 6.** Системы и схемы управления 3-х фазным ШД (2 часа).

**Практическое занятие 7.** Мостовые коммутаторы (2 часа).

**Практическое занятие 8.** Схема с программным разгоном и замедлением. Электрическое дробление шага в ШП (2 часа).

**Лабораторная работа 3.** Вентильно-индукторный электропривод (4 часа).

**Самостоятельная работа 4.** Подготовка к лабораторной работе №3: изучение методических указаний, дополнительная тема на СРС - составление программы для цифрового контура регулирования. Язык программирования – Ассемблер, подготовка к практическим занятиям № 6 - 7, (всего к теме №3 – 30 часов).

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

### **Тема 5. Вентильный и вентильно-индукторный электропривод (ВП и ВИП).**

**Лекция 8.** ВП. Структура. Особенности. Классификация. Схемы с импульсным и потенциальным датчиками положения ротора 2-х фазного двигателя. Схема с потенциальным датчиком положения. Угол установки датчика. Оценка пульсаций момента. Схемы парной коммутации при однополярном и двухполярном питании (2 часа).

**Лекция 9.** Область применения вентильно-индукторной машины (ВИМ). Преимущества. Изменение индуктивности фазы от угла поворота. Определение тока фазы с учётом насыщения и без. ВИМ. Определение момента с учётом насыщения и без. Математическая модель ВИМ. Конвертор ВИМ. Ассиметричный ключ. Стратегии управления. Схемотехнические решения при реализации конверторов ВИМ. Выбор элементов. Двухступенчатое преобразование энергии (генерирующие установки на базе ВИМ). Общая классификация ВИП (2 часа).

**Практическое занятие 9.** ВП с потенциальным датчиком положения ротора вентильного двигателя (ВД) и регулируемые источниками тока. ВП с подчиненным регулированием координат (2 часа).

**Лабораторная работа 4.** Вентильный электропривод дискового двигателя (4 часа).

**Самостоятельная работа 5.** Подготовка к лабораторной работе №4: изучение методических указаний, дополнительная тема на СРС - составление программы для цифрового контура регулирования. Язык программирования – Ассемблер, подготовка к практическому занятию № 9, (всего к теме №4 – 10 часов).

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

Лекционные занятия (в количестве 8 часов) проводятся в интерактивной форме (используются технологии типа «лекция-провокация», т.е. в процессе лекции делается преднамеренная ошибка с последующим опросом студентов на следующей лекции и организацией диалога «преподаватель-студент», «студент-студент» с целью выявления ошибки и установления истины.

На практических занятиях №1-9 (в количестве 14 часов) используется индивидуальный метод работы со студентом с анализом исходных данных, проработка схемы построения электропривода, анализ схемотехнических альтернатив, расчет параметров силовой цепи и цепей управления, возможная оптимизация. Организуется активный диалог студентов с преподавателем и между собой для подведения итогов решения задания и практической реализации схемы привода, анализом достоинства и недостатков схемных решений.

Лабораторные работы (в количестве 14 часов) проводятся в интерактивной форме: работа в малых группах (используется бригадный метод выполнения лабораторных работ).

### **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 для подготовки к практическим занятиям, самостоятельной работе и лабораторным работам (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-9.

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-9 «способностью выбирать серийные и проектировать новые объекты профессиональной деятельности» преподавателем оценивается содержательная сторона и качество материалов, приведенных в отчетах студента по лабораторным работам и практическим занятиям. Учитываются также ответы студента на вопросы по соответствующим видам занятий при текущем контроле – устных опросах, защитах лабораторных работ, ответах на практических занятиях.

Принимается во внимание **знания** обучающимися:

- основных принципов работы электроприводов с вентильными и шаговыми двигателями;
- схемотехники силовых частей и теоретических основ построения систем управления электроприводов с вентильными и шаговыми двигателями;
- вариантов построения цифровых управляющих устройств электроприводов с вентильными и шаговыми двигателями;

наличие **умения**:

- пользоваться методами выбора, синтеза и расчёта электроприводов с вентильными и шаговыми двигателями;

присутствие **навыка**:

- моделирования и проектирования новых электроприводов с вентильными и шаговыми двигателями и цифровой системой управления.

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

Критерии оценивания уровня сформированности компетенции ПК-9 «способностью выбирать серийные и проектировать новые объекты профессиональной деятельности» в процессе защиты лабораторных работ, как формы текущего контроля. На защите соответствующих лабораторных работ (методические указания: «Льготчиков В.В. Лабораторный практикум по курсу «Электропривод с вентильными и шаговыми двигателями»: учебно-практическое издание / В.В. Льготчиков, А.Е. Малиновский. - Смоленск: РИО филиала ГОУВПО «МЭИ (ТУ)» в г.Смоленске, 2009. – 63с.») задается 2 вопроса из примерного перечня:

1. Чем определяется ёмкость счётчика коммутатора шагового двигателя?
2. Как работает датчик момента?
3. Какие законы коммутации можно реализовать на стенде?
4. В чём принцип старт-стопного управления шаговым двигателем?
5. С какой целью используются в схемах управления шаговым двигателем элементы с повышенной степенью интеграции?
6. На каких выводах устройств управления (при электрическом дроблении шага) присутствуют сигналы с широтно-импульсной модуляцией, а на каких сигналы с переменной амплитудой?
7. Как двумя компараторами осуществляется управление токами в четырёх обмотках?
8. В чём заключается принцип работы вентильно-индукторной машины?
9. Как работает цифровой регулятор скорости?
10. Каков принцип работы коммутатора, выполненного на базе мультиплексора?
11. Каков принцип работы датчиков, используемых в системе регулирования скорости привода гибкого магнитного диска ПК?
12. Как работает цифровой индикатор частоты вращения ротора ВД?

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-9 «способностью выбирать серийные и проектировать новые объекты профессиональной деятельности» в результате выполнения заданий на практических занятиях.

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

Способность называть при устном ответе основные законы, приводить простейшие соотношения расчёта импульсных систем, определять способы управления при заданной схематехнике и технологических требованиях соответствует пороговому уровню сформированности компетенции на данном этапе ее формирования, в дополнение к пороговому самостоятельно задавать основные аналитические соотношения для уравнений движения механической части и системы управления – соответствует продвинутому уровню; в дополнении к продвинутому способен синтезировать полную схему привода – 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 «Электропривод с вентильными и шаговыми двигателями» 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 не 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 1 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, закреплёнными за дисциплиной (примерные вопросы по лекционному материалу дисциплины):

1. Введение. Развитие электромеханических преобразователей энергии непрерывного и дискретного действия.
2. Статическая устойчивость. Анализ условий отработки шага.
3. Двухтактные ШД. Требования. Конструкция.
4. Уравнения движения ШД при учете электромагнитного взаимодействия при  $L=0$ .  
Формы записи.

5. Методы ограничения и устранения колебаний. Старт-стопное движение. Углы торможения и разгона. Функции управления.
6. Методы ограничения и устранения колебаний. Старт-стопное движение. Расчет граничных частот режима. Зависимость параметров движения от нагрузки.
7. Теория электромагнетизма и структура ШД. Анализ механизма возникновения момента в реактивном ШД.
8. Теория электромагнетизма и структура ШД. Анализ магнитных систем с бесконечной проницаемостью стали.
9. Теория электромагнетизма и структура ШД. Анализ магнитных систем с постоянной проницаемостью активного материала.
10. Теория электромагнетизма и структура ШД. Влияние насыщения на характеристики ШД. Энергия и коэнергия. Описание магнитных систем ШД с учётом насыщения. Влияние тока на моментно-угловую характеристику.
11. Классификация законов движения и режимов ШД. Характеристики ШД.
12. Конструкция ШД. Типы обмоток. Классификация ШД (*рисунок*). Специальные ШД.
13. Теория динамических характеристик. Расчетная модель многополюсной системы активного ШД. Уравнения баланса напряжений. Уравнение движения. Линеаризация. Уравнения зависимостей токов и угла от параметров. Анализ соотношений.
14. Теория динамических характеристик. Уравнения динамических характеристик для реактивного двигателя. Исходные уравнения. Линеаризация. Результирующие соотношения. Упрощения при выводе.
15. Теория динамических характеристик. Передаточные функции шаговых двигателей. Однофазное возбуждение.
16. Теория динамических характеристик. Передаточные функции шаговых двигателей. Двухфазное возбуждение.
17. Теория динамических характеристик. Одношаговая реакция. Анализ характеристических уравнений. Выбор оптимальных параметров.
18. Механические характеристики ШД. Характеристика выходного момента. Выводы.
19. Шаговый электропривод на базе DSP контроллера (*рисунок*).
20. Системы и схемы управления 4-х фазным ШД без обратных связей. Логические блоки управления на базе JK-триггеров. Варианты включения. Коммутация парная. Реверс.
21. Системы и схемы управления 4-х фазным ШД. Логические блоки управления на базе D-триггеров. Коммутация парная. Реверс.
22. Системы и схемы управления 4-х фазным ШД. Логические блоки управления на базе JK-триггеров. Коммутация поочередная.
23. Системы и схемы управления 4-х фазным ШД. Логические блоки управления на базе счетчика-дешифратора. Анализ недостатков Включение сумматора.
24. Конвертор в шаговом электроприводе ШП. Схемы защит. Анализ.
25. Конвертор в ШП. Задача уменьшения времени нарастания силового тока.
26. Регулирование тока в ШП. Схема с ШИМ без стабилизации частоты. Анализ.
27. Регулирование тока в ШП. Схемы с принудительной синхронизацией и со стабилизацией времени расфорсировки.
28. Входной контроллер ШП. Старт-стопное управление. Отработка серии импульсов.
29. Входной контроллер ШП. Схема с программным разгоном и замедлением. Возможные схемотехнические решения (*рисунок*).
30. Электрическое дробление шага в ШП. Схема с конвертором напряжения.
31. Электрическое дробление шага в ШП. Схема с конвертором тока.
32. Вентильный электропривод ВП. Схемы с импульсным и потенциальным датчиками положения ротора 2-х фазного двигателя.
33. ВП. Схемы парной коммутации при однополярном и двуполярном питании.

34. ВП. Структура. Особенности. Классификация.
35. ВП с потенциальным датчиком положения ротора вентильного двигателя ВД и регулируемые источники тока.
36. ВП с подчиненным регулированием координат.
37. Основы теории ВД. Статические характеристики. Модель в осях  $dq$ . Электромагнитный момент. Угол установки датчика.
38. Основы теории ВД. Области применения.
39. Вентильно-индукторная машина (ВИМ). Преимущества. Изменение индуктивности фазы от угла поворота. Определение тока фазы с учётом насыщения и без.
40. ВИМ. Определение момента с учётом насыщения и без. Математическая модель ВИМ.
41. Синтез дискретного вентильно-индукторного привода (ВИП). Линеаризация ВИМ. Исходная структура разомкнутой системы.
42. Конвертор ВИМ. Ассиметричный ключ (2q ключей на q-фазный ВИП). Стратегии управления (рисунок).

\*- (рисунок) – это иллюстрация вопроса, дополнение к билету. Выдаётся студенту на экзамене вместе с билетом

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

- 1 Основы устройства и работы шагового двигателя. Результирующая намагничивающая сила. Гармонический состав. Момент.
- 2 Виды коммутации. Классификация. Связь с технологией.
- 3 Физическая модель ШД. Период собственных колебаний. Влияние жесткости характеристик. Постоянные времени.
- 4 Характерные диапазоны частот управляющих команд с графическим анализом (рисунок)\*. Частота приемистости.
- 5 Предельные динамические характеристики. Баланс энергий. Оценка приемистости.
- 6 Внезапное торможение и реверс. Баланс энергий. Динамические показатели Оценка.
- 7 Механические характеристики ШД. Характеристика выходного момента. Анализ нормированных соотношений. Резонансы и нестабильность.
- 8 Механические характеристики ШД. Характеристика выходного момента. Анализ. Влияние схемных решений.
- 9 Механические характеристики ШД. Теория нестабильности. Механические демпфирующие устройства.
- 10 Согласование элементов различного типа со входом контроллера DSP. Интерфейсы: 5В TTL -> 3,3В DSP CMOS; 5В CMOS -> 3,3В DSP CMOS; Открытый коллектор -> 3,3В DSP CMOS (рисунок).
- 11 Согласование контроллера DSP с нагрузками различного типа. Подключение датчик - ЦАП. Интерфейсы: 3,3В DSP CMOS -> 5В TTL; 3,3В DSP CMOS -> 5В CMOS; 3,3В DSP CMOS -> Биполярный транзистор; 3,3В DSP CMOS -> MOSFET; . Датчик-> 3,3В DSP CMOS (рисунок).
- 12 Силовые ключи на базе IGBT и MOSFET. Особенности, выбор.
- 13 Силовые ключи на базе IGBT и MOSFET. Драйвера (рисунок).
- 14 Системы и схемы управления 3-х фазным ШД. Логические блоки управления. Блоки повышенной степени интеграции
- 15 Системы и схемы управления ШД. Логические блоки. Схемы подключения к конвертору.

- 16 Конвертор в ШП. Мостовые коммутаторы. Коммутатор для 3-х фазного реактивного двигателя.
- 17 Конвертор в ШП. Расчет и выбор элементов.
- 18 Регулирование тока в ШП. Выбор количества регуляторов. Временные диаграммы. Анализ быстродействия схем.
- 19 ВП. Схема с потенциальным датчиком положения. Угол установки датчика. Оценка пульсаций момента.
- 20 Основы теории ВД. Статические характеристики. Переход к относительным величинам. Пусковой момент и скорость холостого хода.
- 21 Основы теории ВД. Степень нелинейности статической характеристики.
- 22 Основы теории ВД. Угол опережения. Установка. Способы управления.

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.1-42). Второй вопрос – близкий к разбираемому на практических занятиях (вопр.43-64).

1. Введение. Развитие электромеханических преобразователей энергии непрерывного и дискретного действия.
2. Статическая устойчивость. Анализ условий отработки шага.
3. Двухтактные ШД. Требования. Конструкция.
4. Уравнения движения ШД при учете электромагнитного взаимодействия при  $L=0$ . Формы записи.
5. Методы ограничения и устранения колебаний. Старт-стопное движение. Углы торможения и разгона. Функции управления.
6. Методы ограничения и устранения колебаний. Старт-стопное движение. Расчет граничных частот режима. Зависимость параметров движения от нагрузки.
7. Теория электромагнетизма и структура ШД. Анализ механизма возникновения момента в реактивном ШД.
8. Теория электромагнетизма и структура ШД. Анализ магнитных систем с бесконечной проницаемостью стали.
9. Теория электромагнетизма и структура ШД. Анализ магнитных систем с постоянной проницаемостью активного материала.
10. Теория электромагнетизма и структура ШД. Влияние насыщения на характеристики ШД. Энергия и коэнергия. Описание магнитных систем ШД с учётом насыщения. Влияние тока на моментно-угловую характеристику.
11. Классификация законов движения и режимов ШД. Характеристики ШД.
12. Конструкция ШД. Типы обмоток. Классификация ШД (рисунок). Специальные ШД.
13. Теория динамических характеристик. Расчетная модель многополюсной системы активного ШД. Уравнения баланса напряжений. Уравнение движения. Линеаризация. Уравнения зависимостей токов и угла от параметров. Анализ соотношений.
14. Теория динамических характеристик. Уравнения динамических характеристик для реактивного двигателя. Исходные уравнения. Линеаризация. Результирующие соотношения. Упрощения при выводе.
15. Теория динамических характеристик. Передаточные функции шаговых двигателей. Однофазное возбуждение.
16. Теория динамических характеристик. Передаточные функции шаговых двигателей. Двухфазное возбуждение.

17. Теория динамических характеристик. Одношаговая реакция. Анализ характеристических уравнений. Выбор оптимальных параметров.
18. Механические характеристики ШД. Характеристика выходного момента. Выводы.
19. Шаговый электропривод на базе DSP контроллера (рисунок).
20. Системы и схемы управления 4-х фазным ШД без обратных связей. Логические блоки управления на базе JK-триггеров. Варианты включения. Коммутация парная. Реверс.
21. Системы и схемы управления 4-х фазным ШД. Логические блоки управления на базе D-триггеров. Коммутация парная. Реверс.
22. Системы и схемы управления 4-х фазным ШД. Логические блоки управления на базе JK-триггеров. Коммутация поочередная.
23. Системы и схемы управления 4-х фазным ШД. Логические блоки управления на базе счетчика-дешифратора. Анализ недостатков Включение сумматора.
24. Конвертор в шаговом электроприводе ШП. Схемы защит. Анализ.
25. Конвертор в ШП. Задача уменьшения времени нарастания силового тока.
26. Регулирование тока в ШП. Схема с ШИМ без стабилизации частоты. Анализ.
27. Регулирование тока в ШП. Схемы с принудительной синхронизацией и со стабилизацией времени расфосировки.
28. Входной контроллер ШП. Старт-стопное управление. Отработка серии импульсов.
29. Входной контроллер ШП. Схема с программным разгоном и замедлением. Возможные схемотехнические решения (рисунок).
30. Электрическое дробление шага в ШП. Схема с конвертором напряжения.
31. Электрическое дробление шага в ШП. Схема с конвертором тока.
32. Вентильный электропривод ВП. Схемы с импульсным и потенциальным датчиками положения ротора 2-х фазного двигателя.
33. ВП. Схемы парной коммутации при однополярном и двуполярном питании.
34. ВП. Структура. Особенности. Классификация.
35. ВП с потенциальным датчиком положения ротора вентильного двигателя ВД и регулируемые источники тока.
36. ВП с подчиненным регулированием координат.
37. Основы теории ВД. Статические характеристики. Модель в осях  $dq$ . Электромагнитный момент. Угол установки датчика.
38. Основы теории ВД. Области применения.
39. Вентильно-индукторная машина (ВИМ). Преимущества. Изменение индуктивности фазы от угла поворота. Определение тока фазы с учётом насыщения и без.
40. ВИМ. Определение момента с учётом насыщения и без. Математическая модель ВИМ.
41. Синтез дискретного вентильно-индукторного привода (ВИП). Линеаризация ВИМ. Исходная структура разомкнутой системы.
42. Конвертор ВИМ. Ассиметричный ключ (2q ключей на q-фазный ВИП). Стратегии управления (рисунок).
43. Основы устройства и работы шагового двигателя. Результирующая намагничивающая сила. Гармонический состав. Момент.
44. Виды коммутации. Классификация. Связь с технологией.
45. Физическая модель ШД. Период собственных колебаний. Влияние жесткости характеристик. Постоянные времени.
46. Характерные диапазоны частот управляющих команд с графическим анализом (рисунок)\*. Частота приемистости.
47. Предельные динамические характеристики. Баланс энергий. Оценка приемистости.
48. Внезапное торможение и реверс. Баланс энергий. Динамические показатели Оценка.
49. Механические характеристики ШД. Характеристика выходного момента. Анализ нормированных соотношений. Резонансы и нестабильность.



- 50 Механические характеристики ШД. Характеристика выходного момента. Анализ. Влияние схемных решений.
  - 51 Механические характеристики ШД. Теория неустойчивости. Механические демпфирующие устройства.
  - 52 Согласование элементов различного типа со входом контроллера DSP. Интерфейсы: 5В TTL -> 3,3В DSP CMOS; 5В CMOS -> 3,3В DSP CMOS; Открытый коллектор -> 3,3В DSP CMOS (рисунок).
  - 53 Согласование контроллера DSP с нагрузками различного типа. Подключение датчик - ЦАП. Интерфейсы: 3,3В DSP CMOS -> 5В TTL; 3,3В DSP CMOS -> 5В CMOS; 3,3В DSP CMOS -> Биполярный транзистор; 3,3В DSP CMOS -> MOSFET; . Датчик-> 3,3В DSP CMOS (рисунок).
  - 54 Силовые ключи на базе IGBT и MOSFET. Особенности, выбор.
  - 55 Силовые ключи на базе IGBT и MOSFET. Драйвера (рисунок).
  - 56 Системы и схемы управления 3-х фазным ШД. Логические блоки управления. Блоки повышенной степени интеграции
  - 57 Системы и схемы управления ШД. Логические блоки. Схемы подключения к конвертору.
  - 58 Конвертор в ШП. Мостовые коммутаторы. Коммутатор для 3-х фазного реактивного двигателя.
  - 59 Конвертор в ШП. Расчет и выбор элементов.
  - 60 Регулирование тока в ШП. Выбор количества регуляторов. Временные диаграммы. Анализ быстродействия схем.
  - 61 ВП. Схема с потенциальным датчиком положения. Угол установки датчика. Оценка пульсаций момента.
  - 62 Основы теории ВД. Статические характеристики. Переход к относительным величинам. Пусковой момент и скорость холостого хода.
  - 63 Основы теории ВД. Степень нелинейности статической характеристики.
  - 64 Основы теории ВД. Угол опережения. Установка. Способы управления.
- \*- (рисунок) – это иллюстрация вопроса, дополнение к билету. Выдаётся студенту на экзамене вместе с билетом

#### **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 «Электропривод с вентильными и шаговыми двигателями», в которые входят методические рекомендации к выполнению и защите лабораторных работ, по выполнению заданий на самостоятельную работу (приложение к настоящей РПД).

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

##### **а) основная литература**

1. Белоус А.И., Ефименко С.А., Турцевич А.И. Полупроводниковая силовая электроника [электронный ресурс]. – Техносфера, 2013 Режим доступа : [http://biblioclub.ru/index.php?page=book\\_red&id=273783&sr=1](http://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&id=273783&sr=1)

##### **б) дополнительная литература**

1. Рекус Г. Г. Электрооборудование производств. Справочное пособие [электронный ресурс]. – Директ-Медиа, 2014 Режим доступа:



[http://biblioclub.ru/index.php?page=book\\_red&id=229238&sr=1](http://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&id=229238&sr=1)

2. Лыготчиков В.В. Лабораторный практикум по курсу «Электропривод с вентильными и шаговыми двигателями»: учебно-практическое издание / В.В. Лыготчиков, А.Е. Малиновский. - Смоленск: РИО филиала ГОУВПО «МЭИ (ТУ)» в г.Смоленске, 2009. – 63с.
3. Малиновский А.Е. Лыготчиков В.В. Применение микропроцессорной техники в электромеханических системах. - Смоленск: СФ МЭИ, 2001. - 61с.
4. Лыготчиков В.В., Малиновский А.Е. Микропроцессорные средства управления. - Смоленск: Филиал ГОУВПО «МЭИ(ТУ)», 2005. - 73с.

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

1. PIC 18FXX2. Data Sheet. Однокристальные 8-разрядные FLASH CMOS микроконтроллеры с 10-разрядным АЦП компании Microchip Technology Incorporated. Перевод основан на технической документации компании DS 39564A Microchip Technology, USA. ООО «Микро-Чип», Москва.:2003. – 299 р. Режим доступа: <http://www.microchip.ru>.
2. R. Krishnan, Switched reluctance motor drives. Modeling, simulation, analysis, design and applications. IEEE, CRC Press LLC, 2001. 406р. Режим доступа: <http://www.crcpress.com>.

## **9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины**

Дисциплина предусматривает лекции и практические занятия один раз в две недели 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. Слайды презентационного материала собраны в приложении к РПД.

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 занятий фиксируется в РПД в приложении 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 объем 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 приложении к РП и как ссылки 1-3 в списке дополнительной литературы 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 несколько типовых задач 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, приводятся в РП в приложении.

## **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.

## **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- исследовательской лаб. Б-111 «Системы управления электроприводов» (оснащена четырьмя лабораторными стендами с шаговыми и вентильными приводами и программируемыми технологическими контроллерами).


В основное оборудование указанных лабораторий входит оборудование, необходимое для проведения лабораторных работ по дисциплине «Электропривод с вентильными и шаговыми двигателями»:

персональные компьютеры, маломощные шаговые и вентильные электродвигатели 250-370 Вт отечественного производства, конверторы, программируемый контроллер PIC с демонстрационными платами, отладчиком ICD-2, со специальным кабелем для подключения к USB-порту персонального компьютера.

Автор  
д-р.техн.наук, профессор

 В.В. Лыготчиков

Зав. кафедрой  
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- нен- ных	заме- нен- ных	но- вых	анну- лиро- ванн- ых					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10