

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**«Владимирский государственный университет**  
**имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»**  
**(ВлГУ)**



**УТВЕРЖДАЮ**  
**Проректор**  
**по образовательной деятельности**  
 \_\_\_\_\_ А.А.Панфилов  
 « 25 » 06 \_\_\_\_\_ 2018 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

Электрические машины и приводы мехатронных и робототехнических систем

Направление подготовки: 15.03.06 Мехатроника и робототехника

Профиль/программа подготовки:

Уровень высшего образования: бакалавриат

Форма обучения: очная

Семестр	Трудоемкость зач. ед./ час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	СРС, час.	Форма промежу- точного кон- троля (экз./зачет)
3	3/108	18	18	-	36	36, экз.
4	4/144	18	-	18	108	Зачёт
5	5/180	18	18	36	63	КР, 45/экз.
Итого	12/432	54	36	54	207	Экзамен (36); зачет; КР, экзамен (45)



## 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целями освоения дисциплины «Электрические машины и приводы мехатронных и робототехнических систем» являются получение знаний о физических принципах действия электрических машин, их устройстве и технических характеристиках; изучение основ построения электроприводов, входящих в состав мехатронных и робототехнических устройств; выбору исполнительных двигателей, силовых преобразователей, структурному представлению и математическому описанию, как систем автоматического управления, определению статических и динамических характеристик.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО

Дисциплина «Электрические машины и приводы мехатронных и робототехнических систем», индекс Б1.В.ОД.7, относится к блоку дисциплин вариативной части учебного плана бакалавриата по направлению 15.03.06 «Мехатроника и робототехника». При изучении дисциплины используются знания, полученные в курсах «Математика», «Физика», «Основы мехатроники и робототехники», «Электротехника и электроника мехатронных и робототехнических систем». Знания, полученные при изучении данного курса в дальнейшем используются в дисциплинах «Теория автоматического управления», «Управление мехатронными и робототехническими системами», «Проектирование мехатронных и робототехнических систем» при выполнении выпускной квалификационной работы.

В учебном плане предусмотрены лекции, практические занятия, лабораторные работы, курсовая работа и самостоятельная работа студентов.

## 3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

В процессе освоения дисциплины студент формирует и демонстрирует следующие общепрофессиональные и профессиональные компетенции:

ОПК-4: готовностью собирать, обрабатывать, анализировать и систематизировать научно-техническую информацию по тематике исследования, использовать достижения отечественной и зарубежной науки, техники и технологии в своей профессиональной деятельности;

ПК-1: способностью составлять математические модели мехатронных и робототехнических систем (МРС), их подсистем и отдельных элементов и модулей, включая информационные, электромеханические, гидравлические, электрогидравлические, электронные устройства и средства вычислительной техники;

ПК-3: способностью разрабатывать экспериментальные макеты управляющих, информационных и исполнительных модулей мехатронных и робототехнических систем и проводить их экспериментальное исследование с применением современных информационных технологий;

ПК-13: готовностью участвовать в проведении предварительных испытаний составных частей опытного образца мехатронной или робототехнической системы по заданным программам и методикам и вести соответствующие журналы испытаний

В результате освоения дисциплины обучающийся должен демонстрировать следующие результаты образования:

- **знать:** принцип действия и характеристики электродвигателей, характеристики приводов и объекта управления МРС; схемы силовых преобразователей электроприводов (ОПК-4); структурное представление и математическое описание электрических двигателей и электроприводов МРС, методы коррекции приводов и получение требуемых динамических характеристик (ОПК-1); знать спектр динамических характеристик электродвигателей и электроприводов МРС и методы их экспериментального исследования с применением современных информационных технологий (ПК-3); методики проведения предварительных испытаний составных частей опытных образцов электроприводов МРС и влияние компонентов привода на выходные характеристики (ПК-13);

- **уметь:** рассчитывать моменты сопротивления и инерции нагрузки и приводить их к валу двигателя; выбирать двигатели по мощности под заданную нагрузку и режимы работы; выбирать силовые преобразователи под конкретный двигатель и режимы работы (ОПК-4); составлять струк-



турные схемы и математические модели приводов, моделировать приводы (ПК-1), проводить экспериментальные исследования электрических двигателей и электроприводов МРС с применением современных информационных технологий (ПК-3); проводить предварительные испытания составных частей опытных образцов электроприводов МРС и оценивать влияние компонентов привода на выходные характеристики (ПК-13);

- **владеть:** энергетическим расчетом электроприводов и выбором исполнительных двигателей (ОПК-4); методами структурного представления, математического описания, анализа и исследования электроприводов МРС как систем автоматического управления (ПК-1); навыками экспериментальных исследования электрических двигателей и электроприводов МРС с применением современных информационных технологий (ПК-3); методиками и техникой проведения предварительных испытаний составных частей опытных образцов электроприводов МРС (ПК-13).

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 12 зачетных единиц, 432 часа.

№ п/п	Раздел (тема) дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)							Объем учебной работы, с применением интерактивных методов (в часах / %)	Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра), форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	Контрольные работы	СРС	КП / КР			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
<b>Семестр 3</b>												
1	Классификация электрических машин (ЭМ). Законы электромеханики.	3	1	2				4		1/50		
2	Принцип действия бесколлекторных машин переменного тока	3	2-3	2	2			4		2/50		
3	Асинхронные электрические машины	3	4-6	2	4			4		3/50		
4	Синхронные электродвигатели	3	7-9	2	2			6		2/50	Рейтинг-контроль №1	
5	Синхронные магнитоэлектрические, гистерезисные, реактивные, и шаговые двигатели	3	10-13	4	4			4		4/50		
6	Электрические машины постоянного тока	3	14-16	2	4			4		3/50	Рейтинг-контроль №2	
7	Линейные синхронные и асинхронные двигатели. Встроенные электродвигатели	3	17	2	2			4		4/100		
8	Специальные электромеханические преобразователи энергии	3	18	2				4		2/100	Рейтинг-контроль №3	
<b>Всего за 3 семестр</b>		3	18	<b>18</b>	<b>18</b>			<b>36</b>		<b>20/55</b>	<b>экзамен</b>	



1	2	3	4	5	6п	7л	8	9	10	11	12
<b>Семестр 4</b>											
9.	Основы механики электропривода	4	1-2	2				20		1/50	
10.	Энергетический расчет электроприводов МРС	4	3-7	4				20		2/50	рейтинг-контроль №1
11.	Электроприводы с двигателями постоянного тока. Состав, компоненты	4	8-12	4		8		20		6/50	рейтинг-контроль №2
12.	Структурное и математическое описание электроприводов с двигателями постоянного тока.	4	13-14	4		8		20		6/50	
13.	Управление и синтез электроприводов с двигателями постоянного тока	4	15-18	4		2		28		3/50	рейтинг-контроль №3
	<b>Итого за 4 семестр</b>	<b>4</b>	<b>18</b>	<b>18</b>		<b>18</b>		<b>108</b>		<b>18/50</b>	<b>Зачет</b>
<b>Семестр 5</b>											
14.	Электроприводы с двигателями переменного тока. Состав, компоненты	5	1-6	6	6	12		20		12/50	Рейтинг-контроль №1
15.	Управление, структурное и математическое описание электроприводов с асинхронными двигателями	5	7-12	6	6	12		20		12/50	
16.	Управление, структурное и математическое описание электроприводов с синхронными и шаговыми двигателями	5	13-16	4	4	8		15		8/50	Рейтинг-контроль №2
17.	Особенности управления приводами роботов	5	17-18	2	2	4		8		4/50	Рейтинг-контроль №3
	<b>Итого за 5 семестр</b>			<b>18</b>	<b>18</b>	<b>36</b>		<b>63</b>	<b>КР</b>	<b>36/50</b>	<b>КР, экзамен</b>
	<b>Всего за 3-5 семестры</b>			<b>72</b>	<b>36</b>	<b>54</b>		<b>207</b>	<b>КР</b>	<b>48/44</b>	<b>Экзамен, Зачет, КР, экзамен</b>

#### 4.1. Лекции

Раздел 1. Классификация электрических машин (ЭМ). Законы электромеханики  
Введение в электромеханику. Обобщенные электрические машины (ЭМ). Классификация ЭМ. Преобразование энергии в ЭМ. Классификация ЭМ. Законы электромеханики и ее основные задачи. Представление электромеханического преобразователя в виде многополюсника.

Раздел 2. Принцип действия бесколлекторных машин переменного тока

Общие вопросы теории бесколлекторных машин переменного тока. Вращающееся магнитное поле. Принцип действия синхронного генератора, его упрощенная модель и электромагнитная схема. Принцип действия асинхронного двигателя. Устройство статора бесколлекторной машины. Электродвижущая сила обмотки статора. Виды обмоток и их изоляция. Магнитодвижущая сила



сосредоточенной, распределенной и трехфазной обмоток. Круговое, эллиптическое и пульсирующее магнитное поле. Высшие гармоники магнитодвижущей силы трехфазной обмотки.

### Раздел 3. Асинхронные электрические машины

Магнитная цепь асинхронной ЭМ. Двигательный, генераторный и тормозной режим работы. Асинхронные двигатели с короткозамкнутым и фазным ротором. Магнитная цепь асинхронной машины и ее расчет. Потоки рассеяния и роль зубцов сердечника в создании электромагнитного момента. Рабочий процесс трехфазного асинхронного двигателя, его электромагнитный момент и рабочие характеристики. Уравнение напряжений асинхронного двигателя. Уравнение МДС и токов; векторная диаграмма. Схемы замещения двигателя. Потери мощности, электромагнитный момент и механические характеристики. Рабочие характеристики двигателя. Асинхронные ЭМ специального назначения. Однофазные и конденсаторные двигатели.

### Раздел 4. Синхронные ЭМ. Принцип действия и режим работы синхронных двигателей

Способы возбуждения и устройство синхронных ЭМ. Магнитное поле, работа и характеристики синхронных генераторов. Контактное, бесконтактное и самовозбуждение в синхронных генераторах. Типы синхронных машин и их устройство. Магнитная цепь синхронной машины. Магнитное поле и реакция якоря. Уравнения напряжений и векторные диаграммы синхронного генератора. Принцип действия и режимы работы синхронных двигателей. Пуск двигателя и его рабочие характеристики.

### Раздел 5. Синхронные магнитоэлектрические, гистерезисные, реактивные, и шаговые двигатели

Синхронные магнитоэлектрические двигатели с радиальным аксиальным расположением магнитов. Принцип действия синхронного реактивного двигателя. Гистерезисный момент и магнитное запаздывание в гистерезисном двигателе; его механическая характеристика. Шаговые двигатели с активным и реактивным ротором. Принцип действия и обмотки шаговых двигателей. Индикаторные синхронные машины.

### Раздел 6. Электрические машины постоянного тока

Принцип действия и устройство коллекторных машин постоянного тока; их классификация и основные характеристики. Обмотки якоря и магнитное поле ЭМ постоянного тока. Принцип работы генератора и двигателя постоянного тока. Петлевые, волновые и комбинированные обмотки якоря. ЭДС и электромагнитный момент машины постоянного тока. Реакция якоря. Способы возбуждения: с независимым, параллельным последовательным, смешанным. Математическая модель двигателя. Рабочие и регулировочные и тепловые характеристики. Бесколлекторные двигатели постоянного тока. Коммутация бесколлекторного двигателя.

### Раздел 7. Линейные синхронные и асинхронные двигатели. Встроенные электродвигатели

Принцип действия и устройство линейных двигателей. Синхронные и асинхронные линейные двигатели. Коммутация в линейных двигателях. Выполнение обмоток линейных двигателей. Рабочие и регулировочные характеристики. Встроенные электродвигатели.

### Раздел 8. Специальные электромеханические преобразователи энергии

Пьезоэлектрический эффект в материалах. Пьезокерамические преобразователи. Электродвигатели на основе элементов с памятью формы. Искусственная мышца.

### Раздел 9. Основы механики электропривода

Электропривод. Назначение, определение, структура, состав, применение электропривода в мехатронных и робототехнических устройствах. Уравнения механического движения. Установившийся режим (статика). Механические характеристики электродвигателя и нагрузки. Приведение моментов сопротивления и инерции нагрузки к валу двигателя. Рабочие нагрузки в манипуляторе робота. Приведение моментов сопротивления и инерции к «предыдущим» осям. Изменение моментов инерции при изменении длин «плеч».

Раздел 10. Энергетический расчет МРС. Требования к электроприводам промышленных роботов и станков с ЧПУ. Анализ типовых траекторий в станках с ЧПУ и промышленных роботах. Предварительный выбор двигателя, требования по мощности, моменту, скорости и ускорению. Определение максимальных ускорений разгона и торможения. Условия выбора по эквивалентному моменту. Требования к силовому преобразователю, выбор основных параметров.

Раздел 11. Электроприводы с двигателями постоянного тока. Состав, компоненты



Электроприводы с двигателями постоянного тока. Функциональная схема, состав, компоненты, взаимосвязи. Классификация электроприводов, характеристики и требования к электроприводам мехатронных и робототехнических устройств. Силовые преобразователи. Широтно-импульсные преобразователи: принцип действия, базовые схемы на транзисторах и тиристорах. Схемы управления. Управляемые выпрямители: принцип действия, базовые схемы. Схема импульсно-фазового управления. Передаточные функции электродвигателя, силового преобразователя и привода регулирования частоты вращения.

#### Раздел 12. Структурное и математическое описание электроприводов с двигателями постоянного тока

Функциональная и структурная схемы электроприводов (ЭП). Передаточные функции звеньев прямого тракта, вывод передаточных функций силового преобразователя и исполнительного двигателя. Передаточные функции замкнутых ЭП по управляющему и возмущающему воздействиям, по ошибке от управляющего и возмущающего воздействия. Математическая модель механической передачи, как трансформатора скорости и момента. Двухмассовая модель звена: исполнительный двигатель – механическая передача – нагрузка. Основные нелинейности механических передач.

#### Раздел 13. Управление и синтез электроприводов с двигателями постоянного тока

Регуляторы контуров по току, скорости, положению (П, ПИ, ПИД). Влияние обратных связей по току и скорости (положительных и отрицательных). Синтез регуляторов в пространстве состояний. Подчиненное регулирование. Метод синтеза электропривода, как системы подчиненного регулирования. Структурная схема привода с цифровым управлением. Выбор дискретных регуляторов. Позиционно-силовое управление в электроприводах мехатронных и робототехнических систем. Система приводов двухкоординатного позиционера фирмы FANUC: структурная схема, основные характеристики.

#### Раздел 14. Электроприводы с двигателями переменного тока. Состав, компоненты

Электроприводы с двигателями переменного тока, классификация, основные характеристики. Электроприводы с асинхронными и синхронными двигателями, функциональная схема, основные уравнения. Силовые преобразователи: Трехфазный инвертор для приводов переменного тока. Инверторы напряжения и тока, особенности реализации. Понятие инвертор, стойка, виды и организация стоек. Способы получения информации о токе и магнитном потоке. Датчики тока и магнитного потока.

#### Раздел 15. Управление, структурное и математическое описание электроприводов с асинхронными двигателями

Базовая система уравнений электромеханического преобразователя в проекциях на прямоугольную систему координат, связанную с вращающимся магнитным полем. Асинхронный привод: частотно-токовое управление, функциональная и структурная схемы. Условия обеспечения постоянства потокосцепления статора и ротора между амплитудой фазой и абсолютным скольжением вектора тока статора. Передаточные функции звеньев и привода. Регуляторы контуров управления фазой, током и частотой. Векторное управление, реализация раздельного управления скоростью и потокосцеплением. Распространение метода синтеза систем подчиненного регулирования на электроприводы с АД. Система приводов робота FANUC Robot LR Mate 200iD 4S: структурная схема, основные характеристики.

#### Раздел 16. Управление, структурное и математическое описание электроприводов с синхронными шаговыми двигателями

Синхронный привод: функциональная схема. Базовая система уравнений электропривода с СД. Вентильный режим работы электропривода с СД. Характеристики вентильного электропривода с синусоидальным питанием. Система векторного управления электропривода с СД. Передаточные функции электропривода с СД. Регулирование токов в системе векторного управления СД. Ослабление потока в системе векторного управления. Система векторного бездатчикового управления. Распространение методики синтеза систем подчиненного регулирования на электроприводы с СД. Схемы управления электроприводов с ШД. Распределители импульсов. Дробление шага



в приводах с ШД. Система приводов робота PASCAL OMEGA 1-3X(H)-USB: структурная схема, основные характеристики.

#### Раздел 17. Особенности управления приводами роботов

Приведение моментов сопротивления и инерции звеньев к «предыдущим» звеньям. Способы компенсации переменного момента инерции от переменной эквивалентной длины плеч. Позиционно-силовое управление в приводах роботов. Комбинированное управление. Прогнозирующее управление в MPC с не полностью наблюдаемой регулируемой координатой.

### 4.2. Практические занятия

№ п/п	№ раздела дисциплины	Объем, часов	Тема практического занятия
<b>Семестр 3</b>			
1	2	2	Схемы замещения и уравнения машин переменного тока
2-3	3	4	Уравнения, характеристики асинхронных электродвигателей
4	4	2	Уравнения моментов, характеристики синхронных электродвигателей
5-6	5	4	Уравнения, характеристики синхронных магнитоэлектрических, гистерезисных и шаговых электродвигателей
7-8	6	4	Уравнения, характеристики синхронных магнитоэлектрических, гистерезисных и шаговых электродвигателей
9	7	2	Уравнения, характеристики линейных синхронных и асинхронных электродвигателей
Итого:		18	
<b>Семестр 5</b>			
1-3	14	6	Энергетический расчет
4-6	15	6	Передаточные функции компонентов и системы электропривода
7-8	16	4	Синтез электропривода как системы подчиненного регулирования
9	17	2	Синтез регуляторов
Итого:		18	

### 4.3. Лабораторные занятия

№ п/п	№ раздела дисциплины	Объем, часов	Тема лабораторного занятия
<b>Семестр 4</b>			
1	11	4	Исследование двигателя постоянного тока с параллельным и последовательным возбуждением
2	11	4	Исследование параметров механической части привода
3	12	4	Исследование электропривода с двигателем постоянного тока
4	12	4	Изучение системы электроприводов робота FANUC Robot LR Mate 200iD 4S
5	13	2	Синтез регулятора тока
Итого:		18	
<b>Семестр 5</b>			
1	14	4	Исследование устройства и принципа действия преобразователя частоты
2	14	4	Исследование преобразователя частоты при работе на асинхронный двигатель
3	14	4	Исследование рабочих и механических характеристик электропривода переменного тока



4	15	4	Исследование привода переменного тока, работающего в генераторном режиме
5	15	4	Исследование асинхронного двигателя при векторном управлении
6	15	4	Исследование электропривода с вентильным двигателем
7	16	4	Синтез регулятора скорости
8	16	4	Изучение шаговых приводов робота PASCAL OMEGA 1-3X(H)-USB
9	17	4	Изучение шаговых приводов робота PASCAL OMEGA 1-3X(H)-USB
Итого:		36	

## **5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

Для реализации компетентностного подхода в учебный процесс интегрируются интерактивные образовательные технологии, включая информационные и коммуникационные технологии (ИКТ), а также применяются:

- учебные дискуссии;
- видеотренинги;
- методы групповой работы;
- компьютерная симуляция (процессов, объектов и т. п. по профилю дисциплины);
- мультимедийные технологии при проведении учебных занятий.

Для проведения контрольных мероприятий предлагается использовать компьютерные контрольные задания.

Самостоятельная работа студентов подкрепляется использованием ресурсов Интернет.

## **6. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ**

### **6.1. Семестр 3**

#### **6.1.1. Текущий контроль:**

Рейтинг-контроль №1

1. Назовите основные этапы развития электромеханики.
2. Определение электрической машины.
3. Классификация электрических машин.
4. Преобразование энергии в электрических машинах.
5. Принцип работы «элементарного» генератора.
6. Принцип работы «элементарного» двигателя.
7. Основные законы электромеханики.
8. Основные потери энергии в электрической машине.
9. Математическое представление магнитного поля электрической машины.
10. Схемы замещения.
11. Классификация и принцип действия трансформаторов.
12. Однофазные трансформаторы.
13. Трехфазный трансформатор и схема его замещения.
14. Автотрансформаторы.
15. Принцип работы бесколлекторных машин переменного тока.
16. Вращающееся магнитное поле.
17. Устройство статора машин переменного тока.
18. Магнитодвижущая сила обмотки статора.
19. Электродвижущая сила обмотки статора.
20. Изоляция обмоток.



### Рейтинг – контроль №2

1. Принцип действия асинхронных ЭМ.
2. Магнитная цепь асинхронной ЭМ.
3. Асинхронные двигатели с короткозамкнутым и фазным ротором.
4. Электромагнитный момент асинхронного двигателя.
5. Рабочие характеристики асинхронного двигателя.
6. Пуск, торможение и регулирование скорости АД.
7. Схемы замещения АД.
8. Однофазные и конденсаторные АД.
9. Линейные АД.
10. Принцип действия синхронных ЭМ.
11. Способы возбуждения синхронных.
12. Магнитное поле синхронных ЭМ.
13. Реакция якоря в синхронных ЭМ.
14. Принцип работы синхронных двигателей.
15. Момент синхронных ЭМ.
16. Рабочие характеристики синхронных двигателей.
17. Синхронные реактивные двигатели.
18. Шаговые двигатели.
19. Гистерезисные двигатели.
20. Индикаторные синхронные машины.

### Рейтинг – контроль №3

1. Принцип действия электрических машин постоянного тока.
2. Классификация машин постоянного тока.
3. Способы возбуждения машин постоянного тока.
4. Магнитное поле машины постоянного тока.
5. Реакция якоря.
6. Устройство и принцип работы коллекторной машины.
7. Рабочие характеристики двигателя постоянного тока
8. Бесколлекторные двигатели.
9. Высокомоментные двигатели.
10. Тепловая модель двигателя.
11. Математическая модель двигателя постоянного тока.
12. Емкостные двигатели и генераторы.
13. Ионный двигатель.
14. Пьезоэлектрический эффект в материалах.
15. Пьезодвигатели.
16. Индуктивно – емкостные преобразователи.
17. Электродвигатели на основе элементов с памятью формы.
18. Биологические микродвигатели.
19. Параметрические емкостные преобразователи.
20. Пути развития электрических машин

### Промежуточная аттестация:

#### 6.1.2. Экзамен.

#### *Вопросы к экзамену*

1. Классификация электрических машин.
2. Принцип действия синхронного генератора, его упрощенная модель и электромагнитная схема.
3. Преобразование энергии в электрических машинах. Принцип работы «элементарного» генератора. Принцип работы «элементарного» двигателя.
4. Рабочие характеристики асинхронного двигателя.



5. Функции электрических машин в роботах и мехатронных системах.
6. Тепловая модель двигателя.
7. Классификация и принцип действия трансформаторов. Однофазные трансформаторы.
8. Магнитное поле машины постоянного тока.
9. Принцип работы бесколлекторных машин переменного тока.
10. Способы возбуждения синхронных ЭМ.
11. Рабочие характеристики синхронных двигателей.
12. Пьезоэлектрический эффект в материалах. Пьезодвигатели.
13. Математическое представление магнитного поля электрической машины.
14. Пути развития электрических машин.
15. Трехфазный трансформатор и схема его замещения. Автотрансформаторы.
16. Асинхронные двигатели с короткозамкнутым и фазным ротором.
17. Шаговые двигатели.
18. Изоляция обмоток.
19. Схемы замещения.
20. Высокомоментные двигатели.
21. Устройство статора машин переменного тока.
22. Линейные АД.
23. Электродвижущая сила обмотки статора.
24. Емкостные двигатели и генераторы.
25. Магнитодвижущая сила обмотки статора.
26. Гистерезисные двигатели.
27. Вращающееся магнитное поле.
28. Схемы замещения АД.
29. Математическое представление магнитного поля электрической машины.
30. Индикаторные синхронные машины.
31. Момент синхронных ЭМ.
32. Биологические микродвигатели.
33. Реакция якоря в синхронных ЭМ.
34. Электродвигатели на основе элементов с памятью формы.
35. Рабочие характеристики синхронных двигателей.
36. Классификация машин постоянного тока.
37. Изоляция обмоток.
38. Однофазные и конденсаторные АД.
39. Индикаторные синхронные машины.
40. Математическая модель двигателя постоянного тока.

## **6.2. Семестр 4**

### **6.2.1. Текущий контроль**

#### **Рейтинг-контроль №1**

1. Основные понятия и определения в области электропривода.
2. Классификация приводов.
3. Виды моментов на объекте управления: реактивные активные (потенциальные).
4. Приведение моментов сопротивления и инерции от объекта к валу двигателя.
6. Нагрузочные диаграммы приводов.
7. Рабочие нагрузки в манипуляторе робота.
8. Составляющие моментов в манипуляторах от неуравновешенности и длин плеч.
9. Типовые входные воздействия для приводов станков с ЧПУ и промышленных роботов.
10. Условия выбора двигателя по мощности.
11. Определение моментов и мощности на участках разгона и торможения, движения с постоянной скоростью.
12. Выбор мощности двигателя по эквивалентному моменту.
13. Требования к силовым преобразователям электроприводов.

#### **Рейтинг-контроль №2**



1. Управляемый выпрямитель, принцип действия.
2. Управляемый выпрямитель, уравнения выходных напряжения и тока, однофазная схема.
3. Управляемый выпрямитель, уравнения выходных напряжения и тока, трехфазная схема.
4. Управляемый выпрямитель с нулевым проводом для реверсивных приводов.
5. Природа запаздывания в УВ.
6. Мостовая схемы управляемого выпрямителя для реверсивных приводов.
7. Схема импульсно-фазового управления (СИФУ), алгоритм формирования управляющих импульсов.
8. Выражения для тока и напряжения в цепи якоря двигателя постоянного тока.
9. Широтно-импульсные преобразователи (ШИП): принцип действия, временные диаграммы.
10. ШИП: уравнения выходных напряжения и тока.
11. ШИП: базовые схемы на транзисторах.
12. ШИП на транзисторах с повышенной нагрузочной способностью.
13. Схема формирования импульсов, пропорциональной напряжения управления.
14. Природа запаздывания в ШИП.
15. Элементы защиты транзисторов и тиристоров в силовых преобразователях электроприводов.

### **Рейтинг-контроль №3**

1. Передаточные функции и структурные схемы электроприводов с ДПТ.
2. Регуляторы (П, ПИ).
3. Регуляторы (ПИД).
4. Введение обратной связи по скорости. Структурная схема контура скорости.
5. Введение обратной связи по току. Структурная схема контура тока.
6. Представление трехконтурного электропривода как системы подчиненного регулирования.
7. Методика синтеза приводов как системы подчиненного регулирования.
8. Синтез контура тока.
9. Синтез контура скорости.
10. Синтез контура положения.
11. Настройка контуров тока и скорости на оптимальный и симметричный оптимум.
12. Синтез следящего привода как системы подчиненного регулирования.
13. Повышение точности введением инвариантных входов.
14. Позиционно-силовое управление в электроприводах мехатронных и робототехнических систем.
15. Селектор структуры при позиционно-силовом управлении.
16. Представление звеньев: двигатель – механическая передача-нагрузка как двухмассовой системы; математическая модель.

### **6.2.2. Промежуточная аттестация: Зачет**

#### *Вопросы к зачету*

1. Основные понятия и определения в области электропривода.
2. Классификация приводов.
3. Виды моментов на объекте управления: реактивные активные (потенциальные).
4. Приведение моментов сопротивления и инерции от объекта к валу двигателя для вращательного движения
5. Приведение моментов сопротивления и инерции от объекта к валу двигателя для линейного перемещения.
6. Рабочие нагрузки в манипуляторе робота.
8. Составляющие моментов в манипуляторах от неуровновешенности и длин плеч.
9. Типовые входные воздействия для приводов станков с ЧПУ и промышленных роботов.
10. Условия выбора двигателя по мощности.



11. Определение моментов и мощности на участках разгона и торможения, движения с постоянной скоростью.
12. Выбор мощности двигателя по эквивалентному моменту.
13. Требования к силовым преобразователям электроприводов.
14. Управляемый выпрямитель, уравнения выходных напряжения и тока, однофазная схема.
15. Управляемый выпрямитель, уравнения выходных напряжения и тока, трехфазная схема.
16. Управляемый выпрямитель с нулевым проводом для реверсивных приводов.
17. Природа запаздывания в УВ.
18. Мостовая схемы управляемого выпрямителя для реверсивных приводов.
19. Схема импульсно-фазового управления (СИФУ), алгоритм формирования управляющих импульсов.
20. Широтно-импульсные преобразователи (ШИП): принцип действия, временные диаграммы.
21. ШИП: уравнения выходных напряжения и тока.
22. ШИП: базовые схемы на транзисторах.
23. Схема формирования импульсов в функции напряжения управления.
24. Природа запаздывания в ШИП.
25. Передаточные функции и структурные схемы электроприводов с ДПТ.
26. Регуляторы (П, ПИ, ПИД).
27. Введение обратной связи по скорости. Структурная схема контура скорости.
28. Введение обратной связи по току. Структурная схема контура тока.
29. Представление трехконтурного электропривода как системы подчиненного регулирования.
30. Методика синтеза приводов как системы подчиненного регулирования.
31. Синтез контура тока.
32. Синтез контура скорости.
33. Синтез контура положения.
34. Настройка контуров тока и скорости на оптимальный и симметричный оптимум.

### **6.3. Семестр 5**

#### **6.3.1. Текущий контроль**

##### **Рейтинг-контроль №1**

1. Электроприводы с двигателями переменного тока, классификация.
2. Электроприводы с двигателями переменного тока основные характеристики.
3. Электроприводы с двигателями переменного тока, функциональная схема.
4. Задатчики частоты.
5. Инверторы назначение, состав.
6. Стойка, виды и организация стоек.
7. Трехфазный инвертор для приводов переменного тока.
8. Инверторы напряжения, схемы, характеристики, математическое описание.
9. Инверторы тока, схемы, характеристики, математическое описание.
10. Защита транзисторных ключей в выходном каскаде.
11. Стабилизация уровня напряжения в выходном каскаде инвертора.
12. Датчики положения ротора.
13. Способы получения информации о токах статора
14. Датчики тока статора.
15. Датчики магнитного потока.

##### **Рейтинг-контроль №2**

1. Асинхронный привод: функциональная схема.
2. Базовая система уравнений электромеханического преобразователя в проекциях на прямоугольную систему координат, связанную с вращающимся магнитным полем.
3. Уравнения токов и моментов в приводе с АД.
4. Частотно-токовое управление, функциональная и структурная схемы.
5. Передаточные функции электропривода с АД с частотно токовым управлением.



6. Условия обеспечения постоянства потокосцепления статора и ротора между амплитудой фазой и абсолютным скольжением вектора тока статора.
7. Регулятор контура управления частотой.
8. Регулятор контура управления фазой.
9. Регулятор контура управления током.
10. Векторное управление, базовые соотношения. Структурная схема электропривода с векторным управлением.
11. Передаточные функции электропривода с АД с векторным управлением. Реализация раздельного управления скоростью и потокосцеплением.
12. Распространение методики синтеза систем подчиненного регулирования на электроприводы с АД.

### **Рейтинг-контроль №3**

1. Синхронный привод: функциональная схема.
2. Базовая система уравнений электропривода с СД.
3. Вентильный режим работы электропривода с СД.
4. Характеристики вентильного электропривода с синусоидальным питанием.
5. Система векторного управления электропривода с СД.
6. Передаточные функции электропривода с СД.
7. Регулирование токов в системе векторного управления СД.
8. Ослабление потока в системе векторного управления.
9. Система векторного бездатчикового управления.
10. Распространение методики синтеза систем подчиненного регулирования на электроприводы с СД.
11. Схемы управления электроприводов с ШД.
12. Дробление шага в приводах с ШД.
13. Парирование переменных моментов инерции в МРС.
14. .Позиционно-силовое управление в электроприводах МРС.
15. Прогнозирующее управление в МРС.

### **6.3.2. Курсовая работа**

1. Тема курсовой работы. Синтез электропривода мехатронного модуля перемещения.
2. Исходные данные (выбираются согласно заданного варианта по методическим указаниям).
  - 2.1. Характеристика объекта регулирования:
    - вид перемещения: угловое (линейное);
    - вид кинематической схемы;
    - моменты сопротивления и инерции объекта регулирования;
    - вид входного воздействия, скорости и ускорения движения объекта регулирования;
    - вид и характеристики силового преобразователя: ШИМ (УВ).
  - 2.2.. Показатели качества:
    - время переходного процесса;
    - перерегулирование;
    - число перерегулирований;
    - точность в режиме слежения с постоянной скоростью
  3. Содержание работы.
    - 3.1. Энергетический расчет.
      - 3.1.1. Предварительный выбор двигателя и параметров механической передачи.
      - 3.1.2. Уточненный выбор двигателя из условия обеспечения максимальных значений ускорения на участках разгон и торможения, движения с постоянной скоростью и эквивалентного момента. Выбор типа двигателя.
      - 3.1.3. Определение требований к силовому преобразователю.



3.2. Синтез электропривода, как системы автоматического управления (САУ) с подчиненным регулированием.

3.2.1. Составить функциональную и структурную электропривода.

3.2.2. Определить передаточные функции звеньев и САУ по управляющему, возмущающему воздействиям и по ошибке, представив ее как систему подчиненного регулирования.

3.2.3. Синтезировать систему по заданным показателям качества и определить вид и значения параметров корректирующих звеньев.

4. Провести моделирование САУ в среде Matlab. Определить временные и частотные характеристики исходной САУ и полученной в результате синтеза.

*Примечание.* Курсовая работа также может выполняться по различным разделам настоящей дисциплины: по тематике хоздоговорных и госбюджетных НИР и ОКР, выполняемых на кафедре; теме дипломного проекта; по тематике предприятий

### **6.3.3. Промежуточная аттестация. Экзамен**

#### *Вопросы к экзамену*

1. Приведение моментов сопротивления и инерции от объекта к валу двигателя
2. Рабочие нагрузки в манипуляторе робота.
3. Энергетический расчет электроприводов МРС.
4. Определение моментов и мощности на участках разгона и торможения, движения с постоянной скоростью.
5. Выбор мощности двигателя по эквивалентному моменту.
6. Управляемый выпрямитель, уравнения выходных напряжения и тока, трехфазная схема.
7. Управляемый выпрямитель с нулевым проводом для реверсивных приводов с ДПТ.
8. Мостовая схемы управляемого выпрямителя для реверсивных приводов с ДПТ.
9. Схема импульсно-фазового управления (СИФУ), алгоритм формирования управляющих импульсов.
10. Широтно-импульсные преобразователи (ШИП): принцип действия, временные диаграммы.
11. ШИП: базовые схемы на транзисторах.
12. Схема формирования импульсов в функции напряжения управления.
13. Передаточные функции и структурные схемы электроприводов с ДПТ.
14. Регуляторы (П, ПИ, ПИД).
15. Введение обратной связи по скорости. Структурная схема контура скорости.
16. Введение обратной связи по току. Структурная схема контура тока.
17. Представление трехконтурного электропривода как системы подчиненного регулирования.
18. Методика синтеза приводов как системы подчиненного регулирования.
19. Электроприводы с двигателями переменного тока, функциональная схема, классификация.
20. Инверторы назначение, состав.
21. Инверторы тока и напряжения, схемы, характеристики, математическое описание.
22. Базовая система уравнений электромеханического преобразователя в проекциях на прямоугольную систему координат, связанную с вращающимся магнитным полем.
23. Уравнения токов и моментов в приводе с АД.
24. Частотно-токовое управление в приводах с АД, функциональная и структурная схемы.
25. Передаточные функции электропривода с АД с частотно токовым управлением.
26. Условия обеспечения постоянства потокосцепления статора и ротора между амплитудой, фазой и абсолютным скольжением вектора тока статора .
27. Регулятор контура управления частотой.
28. Регулятор контура управления фазой.
29. Регулятор контура управления током.
30. Векторное управление, базовые соотношения. Структурная схема электропривода с векторным управлением.



31. Передаточные функции электропривода с АД с векторным управлением. Реализация раздельного управления скоростью и потокосцеплением.
32. Распространение методики синтеза систем подчиненного регулирования на электроприводы с АД.
33. Базовая система уравнений электропривода с СД.
34. Вентильный режим работы электропривода с СД.
35. Система векторного управления электропривода с СД.
36. Передаточные функции электропривода с СД.
37. Регулирование токов в системе векторного управления СД.
38. Распространение методики синтеза систем подчиненного регулирования на электроприводы с СД.
39. Схемы управления электроприводов с ШД.
40. Дробление шага в приводах с ШД.
41. Парирование переменных моментов инерции в МРС.
42. Позиционно-силовое управление в электроприводах МРС.
43. Прогнозирующее управление в МРС.

### 7. Самостоятельная работа студентов.

Самостоятельная работа студента выполняется в соответствии с учебным планом и программой дисциплины. Самостоятельная работа выполняется с целью углубления и закрепления теоретических знаний, и в период подготовки и выполнения практических и лабораторных занятий, выполнения курсовой работы. Для самостоятельной работы используется основная и дополнительная литература, периодические издания (журналы и ресурсы интернет), указанные в разделе 7 настоящей рабочей программы. Могут быть также использованы другие источники, имеющиеся в свободном доступе. Время для самостоятельной работы по прорабатываемому материалу разделов распределяется согласно таблицы 4.1.

№ п/п	Раздел дисциплины	Темы СРС	Трудоемкость, часов
Семестр 3			
1.	1	Классификация электрических машин. Законы электромеханики.	4
2.	2	Принцип действия бесколлекторных машин переменного тока. Уравнения, характеристики.	4
3.	3	Асинхронные электрические машины. Уравнения, характеристики.	4
4.	4	Синхронные электродвигатели. Уравнения, характеристики.	6
5.	5	Синхронные магнитоэлектрические, гистерезисные, реактивные, и шаговые двигатели. Уравнения, характеристики.	4
6.	6	Электрические машины постоянного тока. Уравнения, характеристики.	4
7.	7	Линейные синхронные и асинхронные двигатели. Встроенные электродвигатели. Уравнения, характеристики.	4
8.	8	Специальные электромеханические преобразователи энергии. Уравнения, характеристики.	4
Итого			36



Семестр 4			
1.	9	Основы механики электропривода. Виды характеристик. Приведение моментов сопротивления и инерции нагрузки к валу двигателя. Примеры.	20
2.	10	Энергетический расчет электроприводов МРС. Нагрузочная диаграмма. Моменты на различных участках движения. Примеры.	20
3.	11	Электроприводы с двигателями постоянного тока. Характеристики, взаимосвязь.	20
4.	12	Структурное и математическое описание электроприводов с двигателями постоянного тока. Примеры описания и составления структурных схем.	20
5.	13	Управление и синтез электроприводов с двигателями постоянного тока. Выделение контуров регулирования и синтез контуров регулирования.	28
Итого			108
Семестр 5			
	14	Электроприводы с двигателями переменного тока. Состав, компоненты. Характеристики, взаимосвязь.	20
	15	Управление, структурное и математическое описание электроприводов с асинхронными двигателями. Примеры описания и составления структурных схем.	20
	16	Управление, структурное и математическое описание электроприводов с синхронными и шаговыми двигателями. Выделение контуров регулирования и синтез контуров регулирования.	15
	17	Особенности управления приводами роботов. Схемы управления. Учет влияния «последующих» звеньев.	8
Итого			63
<b>Всего за 3-5 семестры</b>			<b>207</b>

## 8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

### а) Основная литература:

1. Анучин, А.С. Системы управления электроприводов [Электронный ресурс] : учебник для вузов / Анучин А.С. – М.: Издательский дом МЭИ, 2015. – 373с.- Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383009185.html>.

2. Онищенко, Г.Б. Теория электропривода: Учебник/Г.Б.Онищенко – М.: НИЦ ИНФРА-М.- 2015.-294с.:Режим доступа:<http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=452841-60x90-1/16>. – ISBN 978-5-16-009674-2.

3. Афонин В.И., Еропова Е.В., Родионов Р.В., Умнов В.П. Электрический привод: методические указания к лабораторным работам. – Владимир: ВлГУ, 2013. – 67с.

4. Кобзев, А.А. Системы автоматического управления с параллельной прогнозирующей моделью: моно-графия / А. А. Кобзев [и др.] ; Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых (ВлГУ) .— Владимир : ВлГУ, 2014 .— 159 с. <http://e.lib.vlsu.ru/bitstream/123456789/3872/1/01380>.

### б) Дополнительная литература:

1. Масандилов, Л.Б. Машиностроение. Электроприводы. Т. IV-2 [Электронный ресурс] / Л.Б. Масандилов, Ю.Н. Сергиевский, С.К. Козырев; ред. совет: К.В. Фролов (пред.) и др. - М.: Маши-



ностроение, 2012." -529с.: - Режим доступа:-  
<http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785942755850.html>.

2. Симаков, Г.М. Автоматизированный электропривод в современных технологиях/ Г.М. Симаков– Новосибир.: НГТУ, 2014. – 103 с.: Режим доступа:  
[http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=546373/ISBN 978-5-7782-2400-1](http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=546373/ISBN%20978-5-7782-2400-1)

3. Егоров И.Н., Кобзев А.А., Мишулин Ю.Е., Немонтов В.А. Управление робототехническими системами с силовой моментным очувствлением / Владимир, ВлГУ,2005, 275 с.

#### **в) Периодические издания:**

1. Теоретический и прикладной научно-технический журнал «Мехатроника, автоматизация, управление».
2. Научно-технический журнал «Вестник машиностроения».
3. Научно-технический журнал «Известия ВУЗ «Электромеханика».

#### **в) интернет-ресурсы:**

1. Сайт журнала «Мехатроника, автоматизация, управление» - <http://novtex.ru/mech/>;

### **9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

1. Лекционные занятия (ауд.316-2, 109-2):
  - а) доска, маркер, комплект электронных презентаций/слайдов, учебные видеофильмы
  - б) аудитория, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук).
2. Практические занятия (ауд.105а-2):
  - а) ПЭВМ – 12 шт.;
  - б) презентационная техника (проектор, экран, компьютер/ноутбук);
  - с) пакеты ПО общего назначения (MS Office);
  - д) ПО Matlab, с версией Simulink;
  - е) электропривод с преобразователем КЕВ;
  - ж) электропривод с преобразователем фирмы HITACHI;
  - е) робот модели PASCAL OMEGA 1-3X(H)-USB;
  - ф) робот модели FANUC Robot LR Mate200 iD 4S;
  - г) робот модели PM01(ауд. 106-2) ;
  - h) робот модели PT10 (ауд. 106-2);
  - е) робот модели Электроника НЦ-ТМ (ауд. 106-2).
3. Лабораторные занятия (ауд.105б-2), (106-2):
  - а) ПО Matlab, с версией Simulink;
  - б) многоцелевой стенд на базе электропривода фирмы КЕВ;
  - с) многоцелевой стенд на базе электропривода фирмы Hitaci;
  - д) стенд для исследования шагового привода;
  - е) робот модели PASCAL OMEGA 1-3X(H)-USB;
  - ф) робот модели FANUC Robot LR Mate200 iD 4S.Прочее:
  - а) рабочее место преподавателя, оснащенное компьютером с доступом в Интернет,
  - б) рабочие места студентов, оснащенные компьютерами с доступом в Интернет, предназначенные для работы в электронной образовательной среде.



Рабочая программа дисциплины составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению 15.03.06 «Мехатроника и робототехника».

Рабочую программу составили:

к.т.н., доцент

д.т.н., профессор

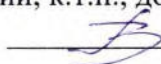


В.П. Умнов

А.А. Кобзев

Рецензент (представитель работодателя)

ПАО «НИПТИЭМ», начальник лаборатории, к.т.н., доцент



Р.В. Родионов

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры «Мехатроника и электронные системы автомобилей». Протокол № 12 от 27. 06. 2018 года.

Зав. кафедрой



А.А. Кобзев

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании учебно-методической комиссии направления 15.03.06 «Мехатроника и робототехника». Протокол № 4 от 27.06.2018 года.

Председатель комиссии

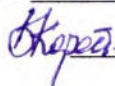


А.А. Кобзев

Рабочая программа переутверждена на 2019/20 учебный год.

Протокол заседания кафедры № 1 от 01.07.19 года.

Заведующий кафедрой



Горостанов В.Ф.



**ЛИСТ ПЕРЕУТВЕРЖДЕНИЯ  
РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ ДИСЦИПЛИНЫ**

Рабочая программа одобрена на 20 20 / 20 21 учебный года

Протокол заседания кафедры № 1 от 01.09.20 года

Заведующий кафедрой *В.Ф. Коростелев* В.Ф. Коростелев

Рабочая программа одобрена на 20 21 / 20 22 учебный года

Протокол заседания кафедры № 16 от 28.06.21 года

Заведующий кафедрой *В.Ф. Коростелев, В.Ф. Коростелев*

Рабочая программа одобрена на 20 \_\_ / 20 \_\_ учебный года

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

Рабочая программа одобрена на 20 \_\_ / 20 \_\_ учебный года

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

Рабочая программа одобрена на 20 \_\_ / 20 \_\_ учебный года

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_