

**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)

Институт машиностроения и автомобильного транспорта

УТВЕРЖДАЮ:  
Директор института ИМиАТ  
машиностроения  
и автомобильного  
транспорта А.И. Елкин  
«20 2 / г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**«ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ И ПРИВОДЫ МЕХАТРОННЫХ И РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ»**

**направление подготовки / специальность**

**15.03.06 «Мехатроника и робототехника»**

**направленность (профиль) подготовки**

**«Мехатроника и робототехника в машиностроении»**

г. Владимир

2021 г.

## 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 (ЭП), входящих в состав мехатронных и робототехнических систем (МРС); выбору исполнительных двигателей, силовых преобразователей, структурному представлению и математическому описанию и анализу ЭП МРС, как систем автоматического управления.

Задачи:

- изучить принцип действия электрических машин постоянного и переменного тока;
- изучить построение и принцип действия преобразователей для двигателей постоянного и переменного тока в ЭП МРС;
- изучить способы управления электродвигателями постоянного и переменного тока в ЭП МРС;
- освоить методику энергетического расчета ЭП;
- освоить математическое описание и структурное представление ЭП, как систем автоматического управления;
- освоить методику синтеза ЭП МРС как систем автоматического управления;
- освоить моделирование ЭП МРС.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОИ

Дисциплина «Электрические машины и приводы мехатронных и робототехнических систем» относится к обязательной части.

## 3. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения ОПОП (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине, в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	
1	2	3	4
ОПК-11. Способен разрабатывать и применять алгоритмы и современные цифровые программные методы расчетов и проектирования отдельных устройств и подсистем мехатронных и робототехнических систем с использованием стандартных исполнительных и управляющих устройств, средств автоматизации, измерительной и вычис-	ОПК-11.2. Уметь разрабатывать алгоритмическое и программно-техническое обеспечение автоматизации технических систем в соответствии с техническим заданием.  ОПК-11.3. Знать способы решения задачи разработки проектов автоматизации и роботизации.  ОПК-11.5. Уметь применять современные методы расчетов и проектирования отдельных устройств и подсистем мехатронных и робототехнических систем.	Умеет разрабатывать алгоритмическое и программно-техническое обеспечение автоматизации технических систем в соответствии с техническим заданием для ЭП МРС.  Знает способы решения задачи разработки проектов автоматизации и роботизации ЭП МРС.  Умеет применять современные методы расчетов и проектирования отдельных устройств и подсистем мехатронных и робототех-	Тестовые вопросы. Примеры.

<p>лительной техники в соответствии с техническим заданием, разрабатывать цифровые алгоритмы и программы управления робототехнических систем.</p>			
<p>ПК-1 Способен вы-бирать и составлять модели мехатронных и робототехнических систем, их подсистем и отдельных элементов и модулей, включая информационные, гидравлические, электрогидравлические, электронные устройства и средства вычислительной техники, использовать специализированные программные продукты для эмуляции и отладки процесса их работы.</p>	<p>ПК-1.1. Знать алгоритмы составления и расчета моделей мехатронных и робототехнических систем, их подсистем и отдельных элементов и модулей. ПК-1.2. Уметь разрабатывать цифровые двойники и цифровые тени элементов мехатронных и робототехнических систем на всех этапах жизненного цикла изделия. ПК-1.3. Владеть технологией моделирования мехатронных и робототехнических систем программными средствами.</p>	<p>Знает алгоритмы составления и расчета моделей мехатронных и робототехнических систем, их подсистем и отдельных элементов и модулей ЭП МРС. Умеет разрабатывать цифровые двойники и цифровые тени ЭП мехатронных и робототехнических систем на всех этапах жизненного цикла изделия. Владеет технологией моделирования ЭП мехатронных и робототехнических систем программными средствами.</p>	<p>Тестовые вопросы. Примеры.</p>
<p>ПК-6 Способен производить расчёты основных характеристик мехатронных и робототехнических систем и выполнять проектно-конструкторские работы в соответствии с техническим проектом отдельных устройств и подсистем мехатронных и робототехнических систем.</p>	<p>ПК-6.1. Знать методику выполнения проектно-конструкторских работ в соответствии с техническим проектом, документами по стандартизации и требованиями технологичности изготовления и сборки. ПК-6.2. Уметь производить расчеты основных характеристик элементов и подсистем мехатронных и робототехнических систем. ПК-6.3. Владеть приемами использования пакетов прикладных программ при проведении расчетных и конструкторских работ, в графическом оформлении проекта.</p>	<p>Знает методику выполнения проектно-конструкторских работ по ЭП МРС в соответствии с техническим проектом, документами по стандартизации и требованиями технологичности изготовления и сборки. Умеет производить расчеты основных характеристик элементов и подсистем ЭП мехатронных и робототехнических систем. Владеет приемами использования пакетов прикладных программ при проведении расчетных и конструкторских работ по ЭП МРС, в графическом оформлении проекта.</p>	<p>Тестовые вопросы. Примеры.</p>
<p>ПК-7 Способен разрабатывать, анализировать и оформлять конструкторскую и технологическую документацию механических, электрических и электронных узлов мехатронных и робо-</p>	<p>ПК-7.1. Знать имеющиеся стандарты и технические условия с использованием стандартного программного обеспечения. ПК-7.2. Уметь разрабатывать разделы проектов автоматизации и роботизации производства. ПК-7.3. Владеть методикой разработки технических про-</p>	<p>Знает имеющиеся стандарты и технические условия расчета ЭП МРС с использованием стандартного программного обеспечения. Уметь разрабатывать разделы проектов автоматизации и роботизации производства применительно к ЭП МРС. Владеет методикой разработки технических проектов</p>	<p>Тестовые вопросы. Примеры.</p>

тотехнических систем в соответствии с имеющимися стандартами и техническими условиями с использованием стандартного программного обеспечения.	ектов отдельных узлов и модулей мехатронных и робототехнических систем.	отдельных узлов и модулей ЭП мехатронных и робототехнических систем.	
---	---	--	--

#### 4. ОБЪЕМ И СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Трудоемкость дисциплины составляет К) зачетных единиц, 360 часов

##### Тематический план форма обучения - очная

№ п/п	Наименование тем и/или разделов/тем дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Контактная работа обучающихся с педагогическим работником				Самостоятельная работа	Формы текущего контроля успеваемости, форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	в форме практической подготовки		
1	Раздел 1. Виды электрических машин и основы электромеханики. Тема 1. Классификация электрических машин (ЭМ) и законы электромеханики	3	1,2	2			2	8	
2	Раздел 2. Электрические машины переменного тока. Тема 2. Принцип действия бесколлекторных машин переменного тока	3	3,4	2	2		2	8	
3	Тема 3. Асинхронные электрические машины.	3	5,6	2	4		2	8	1-й рейтинг-контроль
4	Тема 4. Синхронные электрические машины	3	7,8	2	2		2	8	
5	Тема 5. Модификации синхронных двигателей	3	9-12	4	4		2	16	2-й рейтинг-контроль
6	Раздел 3. Электрические машины постоянного тока. Тема 6. Электрические машины постоянного тока	3	13, 14	2	2		2	8	
7	Раздел 4. Специальные двигатели. Тема 7. Линейные синхронные и асинхронные двигатели	3	15, 16	2	2		2	8	

8	Тема 8. Специальные электро-механические преобразователи энергии	3	17, 18	2	2		2	8	3-й рейтинг-контроль
9	<b>Всего за 3-й семестр</b>			<b>18</b>	<b>18</b>			<b>72</b>	<b>Зачет</b>
К)	Раздел 6. Энергетический расчет электроприводов Тема 9. Основы механики привода	4	1,2	2			2	4	7
11	Тема 10. Энергетический расчет ЭП	4	3-6	4			4	2	14
12	Раздел 7. Электроприводы с двигателями постоянного тока. Тема 11. Функциональная схема, компоненты	4	7-10	4			4	4	14
13	Тема 12. Структурное и математическое описание электроприводов с ДПТ	4	11-14	4			4	2	14
14	Тема 13. Синтез электроприводов с ДПТ	4	15-18	4			4	4	14
	<b>Всего за 4 семестр</b>			<b>18</b>			<b>18</b>		<b>63</b>
	Раздел 8. Электроприводы с двигателями переменного тока. Тема 14. Функциональная схема, компоненты		1-2	2	2			4	3
15	Раздел 9. Электроприводы с асинхронными двигателями (АД). Тема 15. Структурное и математическое описание электроприводов с АД.	5	3,4	2	2		4	2	3
16	Тема 16. Способы управления в электроприводах с АД.	5	5-8	4	4		4	4	6
17	Раздел 10. Электроприводы с синхронными (СД) и шаговыми (ШД) двигателями. Тема 17. Структурное и математическое описание электроприводов с СД.	5	9,10	2	2		2	2	3
	Тема 18. Способы управления в электроприводах с СД и ШД.		11-14	4	4		4	4	6
18	Раздел 11. Особенности управления приводами роботов. Тема 19. Позиционно-силовое и комплементарное управление.	5	15-18	4	4		4	2	6
	<b>Всего за 5-й семестр:</b>			<b>18</b>	<b>18</b>		<b>18</b>		<b>27</b>
11	Наличие в дисциплине КП/КР		-	-	-			-	КР
12	<b>Итого по дисциплине:</b>			<b>54</b>	<b>36</b>		<b>36</b>		<b>162</b>
									<b>Зачет. КР, Экзамен</b>

**по дисциплине «Электрические машины и приводы  
мехатронных и робототехнических систем»**

Раздел 1. Виды электрических машин и основы электромеханики.

Тема 1 Классификация электрических машин (ЭМ) и законы электромеханики. Содержание темы.

Введение в электромеханику. Обобщенные электрические машины (ЭМ). Классификация ЭМ. Преобразование энергии в ЭМ. Законы электромеханики и основные задачи при описании ЭМ. Представление электромеханического преобразователя в виде многополюсника.

Раздел 2. Электрические машины переменного тока.

Тема 2. Принцип действия бесколлекторных машин переменного тока. Содержание темы.

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. Магнитодвижущая сила сосредоточенной, распределенной и трехфазной обмоток.

Тема 3. Асинхронные электрические машины.

Содержание темы.

Магнитная цепь асинхронной ЭМ. Двигательный, генераторный и тормозной режим работы. Асинхронные двигатели (АД) с короткозамкнутым и фазным ротором. Магнитная цепь асинхронной машины и ее расчет. Уравнение напряжений, МДС и токов, векторная диаграмма АД. Электромагнитный момент, потери мощности, механические и рабочие характеристики. Асинхронные ЭМ специального назначения. Однофазные и конденсаторные двигатели.

Тема 4. Синхронные электрические машины.

Содержание темы.

Принцип действия и режим работы синхронных двигателей (СД)

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. Принцип действия и режимы работы СД. Магнитное поле и реакция якоря. Уравнения напряжений и векторные диаграммы синхронного генератора. Пуск двигателя и его рабочие характеристики.

Тема 5. Модификации синхронных двигателей.

Содержание темы.

Синхронные магнитоэлектрические, гистерезисные, реактивные двигатели. Синхронные магнитоэлектрические двигатели с радиальным и аксиальным расположением магнитов. 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 3. Электрические машины постоянного тока.

Тема 6. Электрические машины постоянного тока Содержание темы.

Принцип действия и устройство коллекторных машин постоянного тока, классификация и основные характеристики. Петлевые, волновые и комбинированные обмотки якоря. ЭДС и электромагнитный момент машины постоянного тока, реакция якоря. Способы возбуждения: с независимым, параллельным последовательным, смешанным. Рабочие, регулировочные и тепловые характеристики. Бесколлекторные двигатели постоянного тока.

Раздел 4. Специальные двигатели.

Тема 7. Линейные синхронные и асинхронные двигатели.

Содержание темы.

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.

Тема 8. Специальные электромеханические преобразователи энергии.

Содержание темы.

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

Раздел 6. Энергетический расчет электроприводов.

Тема 9. Основы механики привода.

Содержание темы.

Назначение, определение, структура, состав, применение электропривода (ЭП) в мехатронных и робототехнических устройствах. Уравнения механического движения. 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».

Тема 10. Энергетический расчет электропривода.

Содержание темы.

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 параметров механической передачи. Определение максимальных моментов на участках разгона и торможения. Условия выбора по эквивалентному моменту. Требования к силовому преобразователю, выбор основных параметров.

Раздел 7. Электроприводы с двигателями постоянного тока.

Тема 11. Функциональная схема, компоненты.

Содержание темы.

Функциональная схема, состав, компоненты. Классификация электроприводов, характеристики и требования к электроприводам мехатронных и робототехнических устройств. Силовые преобразователи. Управляемые выпрямители: принцип действия, базовые схемы. Широтно-импульсные преобразователи: принцип действия, базовые схемы на транзисторах и тиристорах. Схемы управления. Схема импульсно-фазового управления.

Тема 12. Структурное и математическое описание электроприводов с ДПТ. Содержание темы.

Структурные схемы электропривода с ДПТ. Передаточные функции звеньев прямого тракта, силового преобразователя и исполнительного двигателя; 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.

Тема 13. Синтез электроприводов с ДПТ

Содержание темы.

Регуляторы контуров по току, скорости, положению (П. ПИ. ПИД). Влияние обратных связей по току и скорости (положительных и отрицательных). Подчиненное регулирование. Метод синтеза электропривода, как системы подчиненного регулирования. Синтез регуляторов в пространстве состояний. Структурная схема привода с цифровым управлением. Выбор дискретных регуляторов.

Раздел 8. Электроприводы с двигателями переменного тока.

Тема 14. Функциональная схема, компоненты.

Содержание темы.

Электроприводы с двигателями переменного тока, классификация, состав. 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 9. Электроприводы с асинхронными двигателями (АД).

Тема 15. Структурное и математическое описание электроприводов с АД. Содержание темы.

Базовая система уравнений электромеханического преобразователя в проекциях на прямоугольную систему координат, связанную с вращающимся магнитным полем. Условия обеспечения постоянства потокосцепления статора и ротора между амплитудой фазой и абсолютным скольжением вектора тока статора. Структурная схема привода. Передаточные функции звеньев и привода.

Тема 16. Способы управления в электроприводах с АД

Содержание темы.

Частотно-токовое управление, принцип, функциональная и структурная схемы. Регуляторы контуров управления фазой, током и частотой. Векторное управление, реализация раздельного управления скоростью и потокосцеплением. Система векторного бездатчикового управления. Система приводов робота FANUC 250M1: структурная схема, основные характеристики.

Раздел 10. Электроприводы с синхронными (СД) и шаговыми (ШД) двигателями.

Тема 17. Структурное и математическое описание электроприводов с СД. Содержание темы.

Синхронный привод, состав, функциональная схема. Базовая система уравнений электропривода с СД. Вентильный режим работы электропривода с СД. Характеристики вентильного электропривода с синусоидальным питанием.

Тема 18. Способы управления в электроприводах с СД и ШД. Содержание темы.

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 шаговых приводов робота PASCAL OMEGA 3X: структурная схема, основные характеристики.

Раздел. 11. Особенности управления приводами роботов.

Тема 19. Позиционно-силовое управление и комплементарное управление. Содержание темы.

Позиционно-силовое управление в приводах роботов. Комплементарное управление. Алгоритмы введения дополнительного управления. Прогнозирующее управление в МРС с не полностью наблюдаемой регулируемой координатой.

### **Содержание практических занятий по дисциплине «Электрические машины и приводы мехатронных и робототехнических систем»**

Раздел 2. Электрические машины переменного тока.

Тема 2. Принцип действия бесколлекторных машин переменного тока.

Содержание практических занятий.

Схемы замещения и уравнения машин переменного тока.

Тема 3. Асинхронные электрические машины.

Содержание практических занятий.

Уравнения, характеристики асинхронных электродвигателей.

Тема 4. Синхронные электрические машины

Содержание практических занятий.

Уравнения моментов, характеристики синхронных электродвигателей.

Тема 5. Модификации синхронных двигателей

Содержание практических занятий.

Уравнения, характеристики синхронных магнитоэлектрических, гистерезисных и шаговых электродвигателей.

Раздел 3. Электрические машины постоянного тока.

Тема 6. Электрические машины постоянного тока.

Содержание практических занятий.

Уравнения, характеристики электродвигателей постоянного тока.

Раздел 4. Специальные электродвигатели.

Тема 7. Линейные синхронные и асинхронные двигатели.

Содержание практических занятий.

Уравнения, характеристики линейных синхронных и асинхронных электродвигателей.

Тема 8. Специальные электромеханические преобразователи энергии.

Содержание практических занятий

Уравнения, характеристики пьезокерамических преобразователей и электродвигателей на основе



элементов с памятью формы.

Раздел 8. Электроприводы с двигателями переменного тока.

Тема 14. Функциональная схема, компоненты.

Содержание практических занятий

Энергетический расчет.

Раздел 9. Электроприводы с АД.

Тема 15. Структурное и математическое описание электроприводов с АД.

Содержание практических занятий.

Передаточные функции компонентов и системы электропривода.

Тема 16. Способы управления в приводах с АД.

Содержание практических занятий.

Синтез электропривода как системы подчиненного управления.

Раздел 10. Тема 17. Структурное и математическое описание электроприводов с СД.

Содержание практических занятий.

Передаточные функции компонентов и системы электропривода.

Тема 18. Способы управления в приводах с СД.

Содержание практических занятий.

Законы и алгоритмы управления.

Раздел 11. Особенности управления приводами роботов.

Тема 19. Позиционно-силовое и комплементарное управление.

Содержание практических занятий.

Законы и алгоритмы управления.

### **Содержание лабораторных работ по дисциплине «Электрические машины и приводы мехатронных и робототехнических систем»**

Раздел 6. Энергетический расчет электроприводов.

Тема 9. Основы механики привода.

Содержание лабораторных работ.

Лабораторная работа 1. Исследование параметров механической части привода.

Тема 10. Энергетический расчет приводов.

Содержание лабораторных работ.

Лабораторная работа 2. Исследование двигателя постоянного тока с параллельным и последовательным возбуждением.

Раздел 7. Электроприводы с двигателями постоянного тока.

Тема 11. Функциональная схема, компоненты.

Содержание лабораторных работ

Лабораторная работа 3. Исследование электропривода с двигателем постоянного тока, часть 1.

Тема 12. Структурное и математическое описание электроприводов.

Содержание лабораторных работ.

Лабораторная работа 4. Исследование электропривода с двигателем постоянного тока, часть 2.

Тема 13. Синтез электроприводов с ДПП.

Содержание лабораторных работ.

Лабораторная работа 5. Исследование регуляторов в составе электропривода с двигателем постоянного тока.

Раздел 9. Электроприводы с АД.

Тема 15. Структурное и математическое описание Электроприводов с АД.

Содержание лабораторных работ.

Лабораторная работа 6. Исследование преобразователя частоты при работе на АД.

Тема 16. Способы управления в электроприводах с АД.

Содержание лабораторных работ.

Лабораторная работа 7. Исследование электропривода с АД с векторным управлением.

Раздел 10. Электроприводы с СД и ШД.

Тема 17. Структурное и математическое описание Электроприводов с СД.

Содержание лабораторных работ.

Лабораторная работа 8. Исследование электропривода с вентильным двигателем.

Тема 18. Способы управления в электроприводах с СД и ШД.

Содержание лабораторных работ.

Лабораторная работа 9. Изучение шаговых приводов робота PASCAL OMEGA 3X.

Раздел 11. Особенности управления приводами роботов.

Тема 19. Позиционно-силовое и комплементарное управление.

Содержание лабораторных работ.

Лабораторная работа 10. Анализ структур электроприводов с комплементарным управлением.

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

### **5.1. Текущий контроль успеваемости**

**3 семестр.**

*Рейтинг-контроль I*

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

#### 4 семестр.

##### *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.
- К). 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 звеньев: двигатель - механическая передача-нагрузка как двухмассовой системы; математическая модель.
7. Представление трехконтурного электропривода как системы подчиненного регулирования.
8. Методика синтеза приводов как системы подчиненного регулирования.
9. Синтез контура тока.

10. Синтез контура скорости.
11. Синтез контура положения.
12. Настройка контуров тока и скорости на оптимальный и симметричный оптимум.
13. Способы повышения точности.
14. Повышение точности введением инвариантных входов.

### 5 семестр.

#### *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. Инверторы напряжения, схемы, характеристики.
8. Инверторы тока, схемы, характеристики.
9. Трехфазный инвертор для приводов переменного тока.
- К). 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.
- К). Векторное управление, базовые соотношения. Структурная схема электропривода с векторным управлением.
11. Передаточные функции электропривода с АД с векторным управлением. Реализация отдельного 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. Синтез электропривода с СД как системы подчиненного регулирования.

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. Комплементарное управление в МРС.

## 5.2. Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины.

### Семестр 3.

#### Зачет

*Вопросы для подготовки к зачету*

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.
- К). 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. Высокомоментные двигатели.
19. Устройство статора машин переменного тока.
20. Линейные АД.
21. Магнитодвижущая сила обмотки статора.
22. Емкостные двигатели и генераторы.
23. Гистерезисные двигатели.
24. Вращающееся магнитное поле, математическое представление.
25. Индикаторные синхронные машины.
26. Рабочие характеристики синхронных двигателей.
27. Классификация и конструктивное построение машин постоянного тока.
28. Принцип действия и характеристики двигателей постоянного тока.
29. Биологические микродвигатели.
30. Электродвигатели на основе элементов с памятью формы.

### Семестр 4.

#### Экзамен

*Вопросы для подготовки к экзамену*

1. Основные понятия и определения в области электропривода.
2. Классификация приводов.
3. Виды моментов на объекте управления: реактивные активные.
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.
  7. Составляющие моментов в манипуляторах от неуравновешенности и длин плеч.
  8. Условия выбора двигателя по мощности.
  9. Определение моментов и мощности на участках разгона и торможения, движения с постоянной скоростью.
- К). Выбор мощности двигателя по эквивалентному моменту.
11. Управляемый выпрямитель с нулевым проводом для реверсивных приводов.
  12. Управляемый выпрямитель, трехфазная схема.
  13. Мостовая схемы управляемого выпрямителя для реверсивных приводов.
  14. Схема импульсно-фазового управления (СИФУ). алгоритм формирования управляющих импульсов.
  15. Широтно-импульсные преобразователи (ШИП): принцип действия, временные диаграммы.
  16. ШИП: базовые схемы на транзисторах.
  17. Схема формирования импульсов в функции напряжения управления.
  18. Передаточные функции и структурные схемы электроприводов с ДПТ.
  19. Регуляторы (П. ПИ. ПИД).
  20. Введение обратной связи по току и скорости.
  21. Представление трехконтурного электропривода как системы подчиненного регулирования.
  22. Методика синтеза приводов как системы подчиненного регулирования.
  23. Синтез контуров тока, скорости, положения.

## **Семестр 5.**

### *Экзамен*

#### *Вопросы для подготовки к экзамену*

1. Электроприводы с двигателями переменного тока, функциональная схема, классификация.
2. Инверторы назначение, состав.
3. Инверторы тока и напряжения, схемы, характеристики, математическое описание.
4. Базовая система уравнений электромеханического преобразователя в проекциях на прямоугольную систему координат, связанную с вращающимся магнитным полем.
5. Частотно-токовое управление в приводах с АД, функциональная и структурная схемы.
6. Векторное управление, базовые соотношения. Структурная схема электропривода с векторным управлением.
7. Бездатчиковое управление асинхронным двигателем.
8. Прямое управление моментом в приводах с АД.
9. Синхронный привод, функциональная схема.
10. Базовая система уравнений электропривода с СД. Вентильный режим работы электропривода с СД.
11. Характеристики вентильного электропривода с синусоидальным питанием.
12. Система векторного управления электропривода с СД.
13. Регулирование токов в системе векторного управления СД.
14. Система векторного бездатчикового управления.
15. Распространение методики синтеза систем подчиненного регулирования на электроприводы с СД.
16. Схемы управления электроприводов с ШД. Распределители импульсов. Дробление шага в приводах с ШД.
17. Система приводов робота PASCAL OMEGA 3X: структурная схема, основные характеристики.
18. Позиционно-силовое управление в приводах роботов.
19. Комплементарное управление в приводах роботов.
20. Алгоритмы введения дополнительного управления.

### **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 привода, 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 конутров тока, скорости, положения.

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 хозяйственных и госбюджетных НИР и ОКР. выполняемых на кафедре; теме дипломного проекта; по тематике предприятий

**5.3. Самостоятельная работа обучающегося**

Самостоятельная работа студента выполняется в соответствии с учебным планом и программой дисциплины. Направлена на углубленное изучение разделов и подготовку к выполнению практических, лабораторных занятий и курсовой работы и оформлению отчетов.

Самостоятельная работа также предусматривает по согласованию с преподавателем (один документ):

- написание реферата;
- подготовку сообщения;
- подготовку доклада;
- написание эссе.

Тематика рефератов, сообщений, докладов, эссе.

## Семестр 3

1. Функции электрических машин в роботах и мехатронных системах.
2. Пути развития электрических машин.
3. Пьезодвигатели. Принцип действия, характеристики. Области применения.
4. Шаговые двигатели. Математическое описание..
5. Высокмоментные двигатели. Материалы и характеристики постоянных магнитов.
6. Линейные АД. конструкция, математическое описание.
7. Емкостные двигатели и генератор, конструкция, математическое описание.



8. Гистерезисные двигатели, конструкция, математическое описание.
9. Биологические микродвигатели, конструкция, математическое описание
10. Электродвигатели на основе элементов с памятью формы, конструкция, математическое описание.

#### Семестр 4

1. Приведение моментов сопротивления и инерции в манипуляторе робота с прямоугольной системой координат.
2. Приведение моментов сопротивления и инерции в манипуляторе робота с цилиндрической системой координат.
3. Модель двух массовой системы: двигатель - механическая передача - нагрузка.
4. Энергетический расчет приводов.
5. Составляющие моментов в манипуляторах от неуравновешенности и длин плеч.
6. Электроприводы с управляемым выпрямителем, виды и реализация управляемых выпрямителей.
7. Электроприводы с широтноимпульсными преобразователями, виды и реализация ШИП.
8. Передаточные функции и структурные схемы электроприводов с ДПТ.
9. Регуляторы (П. ПИ. ПИД), описание, примеры реализации.
- К). Методика синтеза приводов как системы подчиненного регулирования.

#### Семестр 5.

1. Скалярное управление в приводах с АД. стабилизация скорости и момента.
2. Векторное управление в приводах с АД. базовые соотношения, структурная схема, примеры реализации.
3. Бездатчиковое векторное управление в приводах с АД. примеры реализации.
4. Прямое управление моментом в приводах с АД. наблюдатели.
  5. Векторное управление в приводах с СД, примеры реализации.
  6. Вентильный режим работы электропривода с СД. примеры реализации.
  7. Ослабление потока в системе векторного управления с СДПМ.
  8. Система векторного бездатчикового управления в приводах с СД,
9. Алгоритмы позиционно-силового управления в приводах роботов, примеры.
10. Структуры и алгоритмы комплементарного управления в приводах роботов.

Тематика самостоятельных работ может также выполняться по НИОКР, выполняемых кафедрой, или в плане тематики предприятий города и области.

Самостоятельная работа выполняется в течение учебного семестра, в котором изучается соответствующая тема. Результат выполнения работы оформляется в электронном виде (презентация, текстовый файл, 3-10 стр.) и докладывается на практическом занятии. Для самостоятельной работы используется основная и дополнительная литература, периодические издания (журналы и ресурсы интернет), указанные в разделе 6 настоящей рабочей программы. Могут быть также использованы другие источники, имеющиеся в свободном доступе.

Фонд оценочных материалов (ФОМ) для проведения аттестации уровня сформированности компетенций, обучающихся по дисциплине, оформляется отдельным документом.

## **6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **6.1. Книгообеспеченность**

Наименование литературы: автор, название, вид издания, издательство	Год издания	КНИГООБЕСПЕЧЕННОСТЬ
		Наличие в электронном каталоге ЭБС
<b>Основная литература*</b>		
1. Иванов-Смоленский. А.В. Электрические машины. В 2 т. [Электронный ресурс] : учебник для вузов / А.В. Иванов-Смоленский. - 3-е изд., стереот. - М.: Издательский дом МЭИ, 2006.	2006	<a href="http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN5903072674.html">http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN5903072674.html</a>
2. Анучин, А.С. Системы управления электроприводов [Электронный ресурс]: учебник для вузов / А.С. Анучин // М.: Издательский дом МЭИ, 2015. – 373с.	2015	<a href="http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383009185.html">http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383009185.html</a>
3. Онищенко, Г.Б. Теория электропривода: Учебник / Г.Б.Онищенко // М.: НИЦ ИНФРА-М,-2015,-294с.	2015	<a href="http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=452841">http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=452841</a>
4. Афонин, В.И. Электрический привод: методические указания к лабораторным работам / В.И. Афонин, Е.В. Еропова, Р.В. Родионов, В.П. Умнов // Владимир: ВлГУ, 2013. – 67с.	2013	Электронная версия в электронной библиотеке ВлГУ
5. Егоров, И.Н. Методические указания к курсовому и дипломному проектированию «Электропривод мехатронных и робототехнических систем» / И.Н. Егоров, А.А. Кобзев // Владимир: ВлГУ, кафедра АМиР, 2020. – 38 с. Электронный ресурс.	2020	ВлГУ. На сайте кафедры АМиР
<b>Дополнительная литература</b>		
1. Егоров, И.Н., Кобзев А.А., Мишулин Ю.Е., Немонтов В.А. Управление робототехническими системами с силовой моментным чувствлением / , И.Н. Егоров, А.А. Кобзев, Ю.Е. Мишулин. В.А. Немонтов // Владимир: ВлГУ, 2005,- 275с.	2005	Электронная версия в электронной библиотеке ВлГУ
2. Кобзев, А.А. Системы автоматического управления с параллельной прогнозирующей моделью / А. А. Кобзев [и др.] // Владимир: ВлГУ, 2014 .- 159 с.	2015	<a href="http://e.lib.vlsu.ru/bitstream/123456789/3872/1/01380">http://e.lib.vlsu.ru/bitstream/123456789/3872/1/01380</a> .
3. Гайдук, А.Р. Теория автоматического управления в примерах и задачах с решением в MATLAB / А.Р. Гайдук В.Е. Беляев, Т.Г. Пьявченко // Краснодар. СПб. М.: Лань, 2016. – 464 с.	2016	Интернет. В свободном доступе
4. Симаков, Г.М. Автоматизированный электропривод	2014	<a href="http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=5">http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=5</a>

**6.2. Периодические издания (Российская Федерация):**

1. Научно технический журнал «Мехатроника, автоматизация, управление».
2. Научно технический журнал «Известия ВУЗ «Электромеханика».
3. Научно технический журнал «Вестник машиностроения».

**6.3. Интернет-ресурсы:**

1. Робототехнические и мехатронные системы. Егоров О.Д., Подураев Ю.В., Бубнов М.А. - М.: Издательство Станкин. - 2015. – 328 с. Доступ по регистрации на сайте <http://www.kodges.ru/nauka/tehnika1/303427-robototekhnicheskie-mehatronnye-sistemy.html>.

**7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ  
МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

1. Лекционные занятия (ауд.316-2, 109-2):
  - a) доска, маркер, комплект электронных презентаций/слайдов, видеофильмы;
  - b) аудитория, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук).
2. Практические занятия (ауд.105а-2):
  - a) ПЭВМ – 12 шт.;
  - b) презентационная техника (проектор, экран, компьютер/ноутбук).
3. Лабораторные занятия (ауд.105а-2), (106-2):
  - a) ПЭВМ – 12 шт.;
  - b) презентационная техника (проектор, экран, компьютер/ноутбук);
  - c) пакеты ПО общего назначения (MS Office); ПО Matlab, с версией Simulink;
  - d) многоцелевой стенд на базе электропривода фирмы КЕВ;
  - e) многоцелевой стенд на базе электропривода фирмы Hitachi;
4. Прочее:
  - a) рабочее место преподавателя, оснащенное компьютером с доступом в Интернет;
  - b) рабочие места студентов, оснащенные компьютерами с доступом в Интернет, предназначенные для работы в электронной образовательной среде.
5. Перечень используемого лицензионного программного обеспечения: пакеты ПО общего назначения (MS Office); Matlab, с версией Simulink.

Рабочую программу составили:

д.т.н., профессор, профессор кафедры АМиР \_\_\_\_\_  А.А. Кобзев

к.т.н., доцент, доцент кафедры АМиР \_\_\_\_\_  В.П. Умнов

Рецензент:


(представитель работодателя)

Начальник отдела электронных систем

ООО НПК «АВТОПРИБОР» к.т.н., доцент \_\_\_\_\_  Р.В. Родионов

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры АМиР

Протокол № 16 от 28.06.2021 года

Заведующий кафедрой АМиР д.т.н., профессор \_\_\_\_\_  В.Ф Коростелев

Рабочая программа рассмотрена и одобрена

на заседании учебно-методической комиссии направления 15.03.06

Протокол № 13 от 24 июня 2021 года

Председатель комиссии заведующий

кафедрой АМиР д.т.н., профессор \_\_\_\_\_  В.Ф Коростелев

**ЛИСТ ПЕРЕУТВЕРЖДЕНИЯ  
РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ ДИСЦИПЛИНЫ**

Рабочая программа одобрена на 20 22 / 20 23 учебный года

Протокол заседания кафедры № 1 от 31.08.22 года

Заведующий кафедрой Алла Р 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 \_\_\_\_\_

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

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

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_