

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

УТВЕРЖДАЮ:

Первый проректор


(подпись)

« 31 » 03



А.А. Каракозов

20 2023 года

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
Б1.В.04 Комплектные электроприводы в робототехнике**

(код и наименование дисциплины согласно учебному плану)

Направление подготовки: 15.04.06 «Мехатроника и робототехника»
(код и наименование направления подготовки / специальности)

Направленность (профиль): Системы управления
робототехническими комплексами
(наименование профиля / магистерской программы / специализации)

Программа: магистратура
(бакалавриат, магистратура, специалитет)

Форма обучения: очная
(очная, заочная, очно-заочная)

Форма обучения:	Очная
Семестр(ы)	2
Общая трудоёмкость в з.е./часах	6/216
Контактная работа (час.), в том числе:	75
лекции (час.)	34
лабораторные работы (час.)	34
практические (семинарские) занятия (час.)	-
Самостоятельная работа (час.), в том числе:	105
курсовой проект (работа) (семестр/час.)	2/36
Контроль (экзамен, час./зачёт)	экзамен, 36

Донецк, 2023 г.

Рабочая программа дисциплины «Комплектные электроприводы в робототехнике» составлена в соответствии с учебным планом по направлению подготовки 15.04.06 «Мехатроника и робототехника», направленность (профиль) – «Системы управления робототехническими комплексами» для 2023 года приёма по очной форме обучения.

Составитель:

Заведующий кафедрой «Электропривод и автоматизация промышленных установок»,

к.т.н., доцент

(подпись)

Розкаряка П.И.

Рабочая программа **рассмотрена и принята** на заседании кафедры «Электропривод и автоматизация промышленных установок».

Протокол от «07» 03 2023 года № 9.

Заведующий кафедрой

(подпись)

Розкаряка П.И.

(Ф.И.О.)

Рабочая программа **одобрена учебно-методической комиссией** ГОУВПО «ДОННТУ» по направлению подготовки 15.04.06 «Мехатроника и робототехника».

Протокол от «16» 03 2023 года № 4

Председатель

(подпись)

Гусев В.В.

(Ф.И.О.)

Рабочая программа **продлена** для 20__ года приёма на заседании кафедры электропривода и автоматизации промышленных установок.

Протокол от «__» _____ 20__ года № ____.

Заведующий кафедрой

(подпись)

(Ф.И.О.)

Рабочая программа **продлена** для 20__ года приёма на заседании кафедры электропривода и автоматизации промышленных установок.

Протокол от «__» _____ 20__ года № ____.

Заведующий кафедрой

(подпись)

(Ф.И.О.)

Рабочая программа **продлена** для 20__ года приёма на заседании кафедры электропривода и автоматизации промышленных установок.

Протокол от «__» _____ 20__ года № ____.

Заведующий кафедрой

(подпись)

(Ф.И.О.)

1 ОБЪЕКТ, ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Дисциплина рассматривает вопросы проектирования, расчета, выбора и методики наладки систем электропривода на базе современного комплектного электропривода для мехатронных и робототехнических узлов, а также типовые технические решения и примеры схем современных электроприводов в робототехнике.

Цель дисциплины: изучение основных видов и классов современных электромеханических систем различного применения во всём их многообразии, их особенностей, структур, элементной и компонентной базы.

В результате освоения дисциплины студент должен знать:

- номенклатуру серийно-выпускаемых электроприводов; методы расчета и выбора современных систем электропривода; типовые технические решения и примеры схем современных электроприводов в робототехнике;
- правила обслуживания серийно-выпускаемых электроприводов, включая плановые осмотры и ремонты в процессе эксплуатации;
- методы и способы технико-экономического обоснования проектов;
- методы и технические средства монтажа, регулировки, испытаний и наладки электрооборудования, электромеханических систем автоматизации и электроприводов в робототехнике;

уметь:

- уметь использовать полученную в результате обучения теоретическую и практическую базу при выборе комплектного электропривода с учетом особенностей механизма в робототехнике; проектировать типовые системы комплектных электроприводов и их элементов;
- методы и способы технико-экономического обоснования проектов;
- осуществлять эксплуатацию и техническое обслуживание серийно-выпускаемых электроприводов в соответствии с действующими правилами;
- осуществлять монтаж, регулировку, испытания, наладку элементов мехатронных и робототехнических систем и электроприводов в робототехнике;

владеть:

- навыками выбора серийного оборудования и проектирования новых объектов управления мехатронными и робототехническими системами;
- навыками анализа проектных решений электромеханических систем автоматизации и электропривода в робототехнике;
- навыками использования современных цифровых приборов в области электротехники и программного обеспечения для монтажа, регулировке, испытаний, наладки и сдачи в эксплуатацию систем мехатронных и робототехнических систем автоматизации и электроприводов;
- способностью к монтажу, регулировке, испытаниям, наладке и сдаче в эксплуатацию мехатронных и робототехнических систем автоматизации и электроприводов.

Перечисленные результаты обучения являются основой для формирования

следующих компетенций:

- способностью выбирать серийные и проектировать новые объекты автоматизации и робототизации (ПК-2);
- способностью эксплуатировать и проводить ремонт мехатронных и робототехнических систем и их элементов (ПК-3).

2 МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В ОСНОВНОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЕ

Дисциплина относится к части, формируемой участниками образовательных отношений, Блока 1 «Дисциплины (модули)» учебного плана.

Базируется на знаниях и умениях, которые студент приобрел при освоении предшествующих дисциплин: «Системы управления электроприводом», «Промышленные системы управления», «Устройства автоматики и систем управления роботами», «Специальные электроприводы в робототехнике», «Проектирование систем автоматизации».

Знания, умения и навыки, приобретенные при освоении данной дисциплины, реализуются студентом при освоении следующих учебных дисциплин: «Цифровые системы управления роботами», «Цифровые системы автоматизации робототехнических и мехатронных комплексов», «Программное обеспечение робототехнических систем», «Системы управления электроприводов переменного тока в мехатронике и робототехнике».

3 СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

3.1 Распределение учебных часов по темам дисциплины и видам занятий

№ те- мы	Наименование тем (содержательных модулей)	Количество часов (очная форма)				
		Всего	В том числе			
			Лекции	Лабор.	Практ.	СРС
1	Концепция комплектного электропривода. Особенности мощных и маломощных КЭП	7	3	2		2
2	Серии электрических машин	8	2			6
3	Диагностика, защита и мониторинг ЭМС	12	2	4		6
4	Устройства плавного пуска	10	2	2		6
5	Основные типы преобразователей	11	3	6		2
6	Особенности выбора ЭП переменного тока на базе асинхронного двигателя	13	3	4		6
7	Защитная и коммутационная аппаратура ПЧ	11	3	2		6
8	Утилизация тормозной энергии в частотно-управляемых ЭП	10	2	2		6

9	Высоковольтные ПЧ	7	1			6
10	Параметрирование стандартных функций управления	7	1	4		2
11	Ввод-вывод аналоговых и дискретных сигналов. Датчики положения	8	2	2		4
12	Сервопривод	6	2	2		2
13	Выбор комплектных ЭП	5	2			3
14	Передаточные устройства электроприводов	4	1			3
15	Мотор редукторы и муфты. Механотронные модули в системах управления движением	6	1	2		3
16	Кабели и провода	5	2			3
17	Комплектные электроприводы постоянного тока	7	2	2		3
Контактная работа (дополнительная)		7				
Курсовой проект		36				36
Итого по видам занятий		180	34	34	-	105
Контроль		36				
ИТОГО		216				

Формирование компетенций в результате освоения тем дисциплины

Компетенции	Темы дисциплины, нацеленные на формирование компетенции
ПК-2	Темы 1-8, 12-17
ПК-3	Темы 1-17

3.2 Лекции

Тема 1. Концепция комплектного электропривода. Особенности мощных и маломощных КЭП

Содержание темы 1:

Концепция комплектного электропривода, состав КЭП. Конструктивные особенности КЭП. Особенности мощных и маломощных КЭП. Особенности отраслевых КЭП. Особенности построения КЭП для машиностроения, металлургии, транспорта.

Литература к теме 1: [1, 3].

Тема 2. Серии электрических машин

Содержание темы 2:

Единые серии электрических машин. Специальные электрические машины. Электрические двигатели регулируемых ЭП. Перспективы развития электродви-

гателей. Степени защиты от внешних воздействий. Конструктивное исполнение по способу монтажа. Способы охлаждения электрических двигателей. Самовентилируемые двигатели. Деноминация.

Литература к теме 2: [1, 3].

Тема 3. Диагностика, защита и мониторинг электромеханических систем

Содержание темы 3:

Аппаратура и устройства защит в релейно-контакторных схемах ЭП. Многофункциональные устройства защиты. Электронное реле защиты двигателя типа ZEV. Защиты тиристорных ЭП постоянного тока: источники перенапряжений и способы защиты от них; защита от аварийных токов. Защита электродвигателя. Защита силовой цепи ПЧ. Защита цепей управления ПЧ. Организация диагностики и мониторинга состояния ПЧ. Ситуации, которые требуют выключение ЭП. Мероприятия, которые предотвращают возникновение аварий.

Литература к теме 3: [1, 4].

Тема 4. Устройства плавного пуска

Содержание темы 4:

Анализ существующих решений ограничения пусковых токов двигателя. Прямой пуск АД. Реакторный пуск. Автотрансформаторный пуск. Пуск с переключением Y/D. Тиристорные регуляторы напряжения. Функция бустера. Способы остановки АД с помощью УПП. Функции защиты УПП. Регуляторы напряжения без обратной связи по току, с обратной связью по току, регуляторы тока с обратной связью, регуляторы момента с обратной связью по току. Схемы включения УПП с сетевым и обходным контакторами. Пуска нескольких двигателей одним УПП. Пуск АД с фазным ротором. Энергосбережение при использовании устройств плавного пуска.

Литература к теме 4: [1, 4].

Тема 5. Основные типы преобразователей

Содержание темы 5:

Широтно-импульсная модуляция в ПЧ. Требования к ПЧ. Задачи систем управления современных ПЧ. Основные типы ПЧ.

Литература к теме 5: [1, 2, 4].

Тема 6. Особенности выбора ЭП переменного тока на базе асинхронного двигателя

Содержание темы 6:

Выбор номинальной мощности ПЧ. Учет требуемого рабочего диапазона регулирования скорости. Необходимость обеспечения рекуперации энергии. Учет длины силового кабеля для подключения двигателя. Наладка регулируемого ЭП. Искажения в питающей сети. Проблемы, связанные с кратковременными прерываниями тока в силовых цепях. Сети с изолированной нейтралью. Ограничения режимов со стороны двигателя. Тип нагрузки механизма.

Литература к теме 6: [1, 4].

Тема 7. Защитная и коммутационная аппаратура ПЧ

Содержание темы 7:

Дроссели и фильтры. Рекомендуемые схемы подключения. Выбор дросселей и фильтров.

Литература к теме 7: [1, 4].

Тема 8. Утилизация тормозной энергии в частотно-управляемых ЭП

Содержание темы 8:

Способы торможения в электроприводах с ПЧ. Порядок действий при выборе тормозного резистора. Групповое питание инверторов.

Литература к теме 8: [1, 4].

Тема 9. Высоковольтные ПЧ.

Содержание темы 9: Многоуровневый инвертор. Каскадное соединение инверторов. IGCT: запираемый тиристор со встроенным блоком управления. Анализ схемных решений ABB. Трансформаторный ПЧ. Влияние ПЧ на питающую сеть. Перенапряжения на выходе АИН.

Литература к теме 9: [1, 4]

Тема 10. Параметрирование стандартных функций управления.

Содержание темы 10: Процедура быстрой параметризации. Детальная параметризация.

Литература к теме 10: [3]

Тема 11. Ввод-вывод аналоговых и дискретных сигналов. Датчики положения.

Содержание темы 11: Потенциальный вход. Токовая петля. Вывод аналоговых сигналов. Ввод дискретных сигналов. «Сухой» контакт. Вывод дискретных сигналов. Схема с открытым коллектором. Ввод частоты, периода и счет импульсов. Фотоэлектрические датчики положения. Инкрементный датчик. Кодовый датчик. Электромагнитные датчики положения. Резольвер. Индуктосин. Основные параметры датчиков положения.

Литература к теме 11: [1, 4]

Тема 12. Сервопривод.

Содержание темы 12: Требования к сервоприводу. Сравнительный анализ характеристик серводвигателей. Синхронные серводвигатели с постоянными магнитами. Асинхронные серводвигатели. Шаговый двигатель. Гибридный ШД. Биполярные и униполярные ШД. Способы управления фазами ШД. Полношаговый, полушаговый и микрошаговый режимы. Механические характеристики ШД. Кривая старта. Драйвер ШД. Шаговый ЭП.

Литература к теме 12: [1, 4].

Тема 13. Выбор комплектных ЭП.

Содержание темы 13: Сравнительная характеристика систем ЭП. Выбор системы электропривода. Критерии выбора.

Литература к теме 13: [3, 4]

Тема 14. Передаточные устройства электроприводов.

Содержание темы 14: Механическая передача. Требования к механическим передачам. Зубчатые МП, преимущества и недостатки. Классификация зубчатых МП. Цилиндрические, конические, винтовые, реечные, червячные, планетарные, волновые передачи. Прямозубые и косозубые передачи. Фрикционные передачи. Самотормозные механические передачи. Мотор-вариаторы, Кинематические схемы вариаторов.

Литература к теме 14: [2]

Тема 15. Мотор редукторы и муфты. Механотронные модули в системах управления движением.

Содержание темы 15: Соосные цилиндрические, плоские цилиндрические, цилиндро-конические, цилиндро-червячные, спироидные, планетарные низколюфтовые мотор-редукторы. Функции муфт. Упруго-компенсирующие, стальные ламельные компенсирующие, зубчатые компенсирующие, высокоточные муфты, муфты на постоянных магнитах, ограничители момента. Электрошпиндели, мотор-колеса, приводные модули звеньев промышленных манипуляторов, мотор-барабаны, двигатели-ролики, двигатели-цилиндры. Электрошпиндели, мотор-колеса, приводные модули звеньев промышленных манипуляторов, мотор-барабаны, двигатели-ролики, двигатели-цилиндры.

Литература к теме 15: [2]

Тема 16. Кабели и провода.

Содержание темы 16: Обеспечение электромагнитной совместимости. Классификация проводов, используемых в схемах. Материалы и конструкция современных кабелей. Классификация по AWG. Скрутка проводников. Одножильные и многожильные проводники. Витая пара: вопросы помехозащищённости. Внешняя оболочка и внутренняя изоляция.

Литература к теме 16: [1, 3]

Тема 17. Комплектные электроприводы постоянного тока.

Содержание темы 17: Серия КТЭ, КТЭУ, ЭТУ2 (ЭПУ1), ЭШИМ. Комплектные частотно регулируемые ЭП ЭКТ2. Комплектные ЭП ТТС. Современные асинхронные частотно управляемые ЭП с ШИМ: история развития.

Литература к теме 17: [1, 4]

3.3 Практические (семинарские) занятия не предусмотрены

3.4 Лабораторные работы

№ п/п	Тема работы	Объем, час.	Литература
----------	-------------	----------------	------------

		очн	
1	Лабораторная работа №1. Устройства плавного пуска Altistart 48 Schneider electric.	2	[1, 4]
2	Лабораторная работа №2. Аппаратная часть частотного преобразователя Unidrive-SP фирмы Control Technique. Ввод в эксплуатацию ПЧ.	2	[1, 4]
3	Лабораторная работа №3 Первый запуск ПЧ Unidrive-SP. Режим автонастройки. Использование панели SM-Keypad Plus.	4	[1, 4]
4	Лабораторная работа №4. Программное обеспечение CTSOft и CTScore. Настройка ПЧ Unidrive-SP. Средства формирования задания на скорость.	4	[1, 4]
5	Лабораторная работа №5. Настройка ПЧ Unidrive-SP. Моторизованный потенциометр. Предустановленные скорости, программное задание. Параметрирование цифровых и аналоговых входов и выходов.	4	[1, 4]
6	Лабораторная работа №6. Исследование ПЧ Unidrive-SP. Режим управления моментом. Работа ПЧ в векторном режиме и режиме серво. . Работа ПЧ в режиме позиционирования.	4	[1, 4]
7	Лабораторная работа №7. Преобразователь частоты COMMANDER SK и его параметрирование. Использование программного обеспечения SYPTLITE для управления электроприводом COMMANDER SK	4	[1, 4]
8	Лабораторная работа №8. Параметрирование контроллера сервопреобразователя Lenze 9300 для работы в режиме управления скоростью.	4	[1, 4]
9	Лабораторная работа №9. Цифровой преобразователь постоянного тока Mentor II и программное обеспечение MENTOR SOFT	4	[1, 4]
10	Лабораторная работа №10. Знакомство с шаговым ЭП Autonics.	2	[1, 4]
ИТОГО:		34	

3.5 Самостоятельная работа студента

№ п/п	Виды самостоятельной работы студента	Объем, час. очн
1	Изучение лекционного материала	34
2	Подготовка к лабораторным занятиям	35
3	Выполнение курсового проекта	36
ИТОГО:		105

3.6 Курсовой проект (работа), индивидуальное задание

Программой дисциплины предусмотрено выполнение студентами **курсового проекта** на тему «Расчет мощности и выбор преобразователя частоты производственного механизма».

Тематика курсового проекта связана с расчетом мощности и выбором преобразователя частоты рекомендуемого производителя; выбором коммутационной и защитной аппаратуры; составлением схемы управления ПЧ-АД для электропривода механизма.

Курсовой проект ориентирован на освещение и разработку следующих вопросов:

- 1) расчет мощности и выбор ПЧ;
- 2) расчет энергии торможения, выбор тормозного резистора (модуля рекуперации);
- 3) выбор датчика обратной связи по положению;
- 4) выбор коммутационной и защитной аппаратуры;
- 5) расчет и выбор дросселей и фильтров;
- 6) расчет и выбор силового кабеля;
- 7) составление и описание схемы управления ПЧ-АД.

Все технические решения, применяемые в курсовом проекте, должны приниматься на основе анализа современной технической литературы и с использованием современной элементной базы.

Объем курсовой работы – не более 40 страниц сброшюрованных рукописного или машинописного текста. Студент обязан оформить работу в соответствии с установленными требованиями.

4 ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

4.1 Критерии и шкалы для интегрированной оценки уровня сформированности компетенций

Составляющая компетенции – полнота знаний

- нулевой уровень: неверные, не аргументированные, с множеством грубых ошибок ответы на вопросы. Уровень знаний ниже минимальных требований;
- минимальный уровень: даны не полные, неточные и неаргументированные ответы на вопросы. Допущено много грубых ошибок. Уровень знаний ниже минимальных требований;
- пороговый уровень: даны недостаточно полные, точные и аргументированные ответы на вопросы. Плохо знает термины, определения и понятия; основные закономерности, соотношения, принципы. Допущено много негрубых ошибок;
- средний уровень: даны достаточно полные, точные и аргументированные ответы на вопросы. В целом знает термины, определения и понятия; основные закономерности, соотношения, принципы. Допущено несколько негрубых ошибок;
- продвинутый уровень: даны полные, точные и аргументированные ответы на вопросы. Знает термины, определения и понятия; основные закономерности, соотношения, принципы. Допущено несколько негрубых ошибок;
- высокий уровень: даны полные, точные и аргументированные ответы на вопросы. Знает термины, определения и понятия; основные закономерности, соотношения, принципы. Допущено несколько неточностей.

Составляющая компетенции – умения

- нулевой уровень: полное отсутствие понимания сути методики решения задачи, допущено множество грубейших ошибок / задания не выполнены вообще;

- минимальный уровень: слабое понимание сути методики решения задачи, допущены грубые ошибки. Решения не обоснованы. Не умеет использовать нормативно-техническую литературу;
- пороговый уровень: достаточное понимание сути методики решения задачи, допущены ошибки. Решения не всегда обоснованы. Умеет использовать нормативно-техническую литературу. Слабо ориентируется в специальной научной литературе;
- средний уровень: в целом понимает суть методики решения задачи, допущены ошибки. Решения не всегда обоснованы. Умеет использовать нормативно-техническую и специальную научную литературу;
- продвинутый уровень: в целом понимает суть методики решения задачи, допущены неточности. Способен обосновать решения. Умеет использовать нормативно-техническую и специальную научную литературу;
- высокий уровень: понимает суть методики решения задачи. Способен обосновать решения. Умеет использовать нормативно-техническую и специальную научную литературу, передовой производственный опыт.

Составляющая компетенции – владение навыками

- нулевой уровень: не демонстрирует владение навыками выполнения профессиональных задач. Не может выполнить задания;
- минимальный уровень: не демонстрирует владение навыками выполнения профессиональных задач. Испытывает существенные трудности при выполнении отдельных заданий;
- пороговый уровень: владеет навыками выполнения профессиональных задач на пороговом уровне. Задания выполняет медленно и некачественно;
- средний уровень: владеет навыками выполнения профессиональных задач. Задания выполняет на среднем уровне по скорости и качеству;
- продвинутый уровень: владеет уверенными навыками выполнения профессиональных задач. Быстро и качественно выполняет задания, иногда допуская незначительные погрешности;
- высокий уровень: владеет уверенными навыками выполнения профессиональных задач. Быстро и качественно выполняет задания, при необходимости демонстрируя творческий подход.

Обобщенная оценка сформированности компетенций

- нулевой уровень: на нулевом уровне сформированы: все составляющие; одна или две из трёх, остальные – на более высоком уровне;
- минимальный уровень: на минимальном уровне сформированы: все составляющие; одна или две из трёх, остальные – на более высоком уровне;
- пороговый уровень: на пороговом уровне сформированы: все составляющие; одна или две из трёх, остальные – на более высоком уровне;
- средний уровень: на среднем уровне сформированы: все составляющие; одна или две из трёх, остальные – на более высоком уровне;
- продвинутый уровень: на продвинутом уровне сформированы: все составляющие; одна или две из трёх, остальные – на высоком уровне;

- высокий уровень: на высоком уровне сформированы все составляющие компетенций.

4.2 Вопросы к экзамену и пример экзаменационного билета

Вопросы к экзамену:

1. Назовите основные достоинства и недостатки высоковольтных частотно-управляемых ЭП. Какие схемные решения используются в таких системах? Чем они принципиально отличаются от низковольтных ПЧ?
2. Обоснуйте верхнюю по мощности границу применения преобразователей частоты, питающихся от однофазной цепи.
3. Проанализируйте возможность применения единой серии электрических машин в металлургии. На каких металлургических механизмах можно применить такие машины и почему?
4. Проанализируйте способы охлаждения электрических машин при их работе на транспорте и с учетом их IP исполнения на примере ЭП трамвая.
5. Обоснуйте необходимость применения специальной серии электрических машин на транспорте.
6. На какие факторы и параметры необходимо обращать внимание при замене вышедшего из строя двигателя.
7. Обоснуйте необходимость применения специальной серии электрических машин в металлургии.
8. Какие меры можно применить для защиты от аварийных ситуаций электродвигателя, управляемого от современного преобразователя?
9. Проанализируйте типы защит в преобразователях частоты.
10. Предложите схему УПП, обеспечивающую реверс электродвигателя.
11. Обоснуйте необходимость ограничения пусковых токов двигателя. Какие варианты ограничения токов вам известны. Сравните все известные Вам варианты.
12. Проанализируйте типы защит в реверсивных тиристорных преобразователях постоянного тока.
13. Проанализируйте основные (принципиальные) отличия единой и специальной серии электрических машин?
14. Проведите сравнительный анализ различных типов УПП: 1) с тиристорами в двух фазах, 2) с тиристорами в трех фазах и датчиком тока; 3) УПП, обеспечивающий ограничение момента.
15. Вы внедряете ПЧ для ЭП конвейерной линии. До модернизации СУЭП этого конвейера была разомкнутой. На какие факторы необходимо обратить внимание при выборе ПЧ. Какие достоинства и недостатки будет иметь новая СУЭП?
16. Электромеханик при наладке нового ПЧ насоса установил закон частотного управления $U/f = \text{const}$. Каким образом этот факт повлияет на дальнейшую работу ЭП?

17. Вам необходимо выбрать преобразователь или УПП для насосной станции, состоящей из трех насосов. Сколько ПЧ или УПП вы выберете? Чем будете руководствоваться? Обоснуйте ответ. Приведите схему.

18. Проанализируйте влияние диапазона регулирования скорости и изменения нагрузки на выбор типа ПЧ?

19. Проведите сравнительный анализ двух систем в ЭП троллейбуса: 1) ПЧ с тормозным резистором; 2) ПЧ с модулем рекуперации.

20. Вам необходимо выбрать частотный преобразователь для механизма перемещения крана (тележки). С каким законом управления Вы выберете ПЧ – векторным или скалярным? Обоснуйте ответ.

21. Электромеханик при наладке нового ПЧ механизма подъема установил закон частотного управления $U/f^2 = \text{const}$ (квадратичный). Каким образом этот факт повлияет на дальнейшую работу ЭП? Обоснуйте ответ.

22. Проведите сравнительный анализ ПЧ с точки зрения возможности их работы в четырехквadrантном режиме.

23. Вы установили один УПП для двухдвигательного ЭП конвейера. Какие параметры УПП важны при настройке его системы управления и защиты.

24. Вам необходимо выбрать ПЧ для механизма подъема крана. С каким законом управления Вы выберете ПЧ – векторным или скалярным?

25. Какую функцию выполняют элементы, которые устанавливаются между ПЧ и питающей сетью? Дайте свои рекомендации по выбору этих элементов.

26. Какие свойства и характеристики дискретных и аналоговых входов оказывают влияние на статическую и динамическую точность сигналов? То же для выходов?

27. Проведите сравнительный анализ аналоговых и импульсных датчиков скорости (положения)?

28. Проведите сравнительный анализ двух способов регулирования скорости: с помощью ПЧ и с помощью мотор-вариатора.

29. Обоснуйте необходимость гальванической (потенциальной) развязки электрических силовых цепей и цепей управления. Какие из известных вам датчиков, измеряющих электрические величины, обеспечивают такую развязку, а какие требуют дополнительных мер для ее обеспечения?

30. Назовите область применения сервопривода исходя из его характеристик. Проведите сравнительный анализ сервопривода на базе СДПМ, ДПТ, ПЧ-АД.

31. По каким признакам шаговый привод можно отнести к сервоприводам, а по каким – нет? Обоснуйте ответ.

32. Проведите сравнительный анализ зубчатых и фрикционных механических передач.

33. Обоснуйте необходимость использования механотронных модулей в системах ЭП.

Пример экзаменационного билета:

ГОУВПО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Программа подготовки: магистратура

Направление подготовки: 15.04.06 «Мехатроника и робототехника»

Направленность: Системы управления робототехническими комплексами

Семестр: 2

Учебная дисциплина: Комплектный электропривод в робототехнике

БИЛЕТ № 1

1. Проанализируйте возможность применения единой серии электрических машин в металлургии. На каких металлургических механизмах можно применить такие машины и почему?.

2. Обоснуйте необходимость ограничения пусковых токов двигателя. Какие варианты ограничения токов вам известны. Сравните все известные Вам варианты.

3. Какие свойства и характеристики дискретных и аналоговых входов оказывают влияние на статическую и динамическую точность сигналов? Тоже для выходов?

Зав. кафедрой

Розкаряка П.И.

Экзаменатор

Розкаряка П.И.

КРИТЕРИИ

оценивания экзаменационной работы

по дисциплине «Комплектный электропривод в робототехнике»

для обучающихся по направлению подготовки 15.04.06 Мехатроника и робототехника

(Направленность: Системы управления робототехническими комплексами)

Экзамен проводится письменно по билетам. Билет содержит 3 вопроса, каждый из которых требует конкретного ответа. При необходимости отвечающий должен сопроводить написанное поясняющей схемой (рисунком).

Вопросы охватывают теоретическую часть курса, а также требуют демонстрации практических навыков, полученных студентом в ходе лабораторных работ и выполнения курсового проекта.

Правильный ответ на вопрос оценивается в двадцать баллов. Если ответ не полный, то он оценивается в десять баллов. При отсутствии правильного ответа на поставленный вопрос обучающийся получает ноль баллов. Полученные баллы за ответы на вопросы билета суммируются и с учётом результатов текущего контроля работы студента выводится итоговая оценка по 100-балльной шкале.

Полученная оценка по 100-балльной шкале определяет оценку по государственной шкале и шкале ESTS.

Утверждено на заседании кафедры электропривода и автоматизации

промышленных установок, протокол № ____ от _____.20____ г.

Заведующий кафедрой _____ Розкаряка П.И.

4.3 Критерии оценивания

Оценивание уровня освоения студентом учебного материала дисциплины «Комплектный электропривод в робототехнике» производится в ходе текущего контроля и промежуточной аттестации (семестрового контроля).

Текущий контроль знаний студента очной и заочной форм обучения осуществляется по результатам выполненных лабораторных работ. Выполнение лабораторных работ с защитой отчёта, выполнение курсового проекта, предусмотренных рабочей программой дисциплины, является необходимым условием допуска студента к экзамену.

Распределение баллов текущего контроля работы студента на протяжении семестра приведено в таблице 1.

Таблица 1 – Распределение баллов текущего контроля

Форма контроля	Возможное количество баллов	Примечание
Для студентов очной формы обучения		
Отчёт по лабораторной работе	4	Задание выполнено правильно, полученные результаты обоснованы, приведен анализ полученного результата
	2	Задание выполнено в целом правильно, полученные результаты не всегда обоснованы, возникли трудности в объяснении полученных результатов
Итого по лабораторным работам (максимально возможное)	40	Из расчёта проведения десяти лабораторных работ. Оцениваются результаты каждой лабораторной работы.
ИТОГО	40	Максимально возможное

Промежуточная аттестация по результатам освоения дисциплины в семестре проводится в форме семестрового экзамена. Форма проведения экзамена – письменная. Экзаменационный билет включает в себя 3 теоретических вопроса. При оценивании студента на экзамене преподаватель руководствуется критериями, приведенными в таблице 2.

Максимальное количество баллов за ответ на вопрос экзаменационного билета засчитывается студенту в случае, если ответ подтверждает владение студентом знаниями в полном объеме учебной программы, материал изложен в логической последовательности с выделением главного, содержит точные формулировки, сопровождается иллюстрирующими схемами и рисунками (при необходимости).

В случае, если ответ на вопрос не в полной мере отвечает приведенным требованиям, студенту засчитывается количество баллов, равное 10. При отсутствии правильного ответа на поставленный вопрос студент получает 0 баллов.

Таблица 2 – Распределение баллов по семестровому экзамену

Форма контроля		Максимально возможное количество баллов
Ответ на вопросы экзаменационного билета	вопрос 1	20
	вопрос 2	20
	вопрос 3	20
ИТОГО		60

Итоговая оценка определяется путем суммирования количества баллов по результатам текущего контроля и количества баллов по результатам семестрового экзамена. **Максимально возможное количество баллов – 100.**

Полученная оценка по 100-балльной шкале определяет оценку по государственной шкале и шкале ECTS:

Сумма баллов по 100-балльной шкале	Оценка по шкале ECTS	Оценка по государственной шкале
90-100	A	Отлично
80-89	B	Хорошо

Сумма баллов по 100-бальной шкале	Оценка по шкале ECTS	Оценка по государственной шкале
75-79	C	Удовлетворительно
70-74	D	
60-69	E	
35-59	FX	Неудовлетворительно
0-34	F*	

* – с обязательным повторным изучением дисциплины.

4.4 Пример текущего опроса на лабораторных работах

На примере темы «Устройства плавного пуска»:

1. Обоснуйте необходимость ограничения пусковых токов асинхронного двигателя.
2. Поясните принцип работы функции бустера в устройстве плавного пуска.
3. Проанализируйте способы организации торможения в устройстве плавного пуска.
4. Поясните возможность работы системы ТРН-АД при работе электрического двигателя в генераторном режиме.

Ответы на вопросы входного контроля учитываются преподавателем в результатах текущего контроля работы студента.

4.5 Курсовое проектирование

Согласно учебному плану по дисциплине «Комплектный электропривод в робототехнике» предусмотрено выполнение курсового проекта на тему «Расчет мощности и выбор преобразователя частоты производственного механизма».

Тематика курсового проекта связана с расчетом мощности и выбором преобразователя частоты рекомендуемого производителя; выбором коммутационной и защитной аппаратуры; составлением схемы управления ПЧ-АД для электропривода производственного механизма.

Курсовой проект ориентирован на освещение и разработку следующих вопросов: расчет мощности и выбор ПЧ; расчет энергии торможения, выбор тормозного резистора (модуля рекуперации); выбор датчика обратной связи по положению; выбор коммутационной и защитной аппаратуры; расчет и выбор дросселей и фильтров; расчет и выбор силового кабеля; составление и описание схемы управления ПЧ-АД.

При оценивании результатов выполнения курсового проекта руководствуются следующим распределением максимально возможного количества баллов по основным разделам работы:

№ п/п	Наименование раздела	Максимально возможное количество баллов
1	Расчет мощности и выбор ПЧ.	20
2	Расчет энергии торможения, выбор тормозного резистора	20
3	Расчет и выбор датчика обратной связи по положению;	20

	коммутационной и защитной аппаратуры;	
4	Расчет и выбор дросселей и фильтров; расчет и выбор силового кабеля	20
5	Составление и описание схемы управления ПЧ-АД.	20
ИТОГО		100

Оценивание раздела производится исходя из следующего:

- правильное и обоснованное (аргументированное) решение с использованием современных технологий и аппаратной базы, грамотное применение методики расчёта – максимально возможное количество баллов;
- правильное решение с замечаниями по обоснованию (изложение материала не всегда логичное), имеются замечания по выбору проектных решений, приведенному расчёту и использованию его результатов – от 1/3 до 2/3 от максимально возможного количества баллов;
- неверное решение, неумение выполнить расчет для принятия решения, получения необходимых результатов – ноль баллов.

Итоговая оценка по курсовому проекту определяется суммированием набранных по разделам баллов.

5 РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

I Основная литература

1 Васильев Б.Ю. Электропривод. Энергетика электропривода [Электронный ресурс] : учебник для вузов / Б.Ю. Васильев. - 11 Мб. - Москва : СОЛОН-Пресс, 2015. - 1 файл. - Систем. требования: Acrobat Reader.

<http://ed.donntu.org/books/17/cd6756.pdf>

2. Пашков Е.В. Следящие приводы промышленного технологического оборудования [Электронный ресурс] : учебное пособие для вузов / Е.В. Пашков, В.А. Крамарь, А.А. Кабанов. - 24 Мб. - Санкт-Петербург : Лань, 2015. - 1 файл. - Систем. требования: Acrobat Reader. <http://ed.donntu.org/books/17/cd6447.pdf>

II Дополнительная литература

3. Электрический привод [Электронный ресурс] : термины и определения : учебное пособие по курсу "Электрический привод" для студентов, обучающихся по направлению "Электроэнергетика и электротехника" / С.К. Козырев, А.С. Анучин, А.Е. Козярук и др. ; Нац. исслед. ун-т "МЭИ". - 2 Мб. - Москва : Изд-во МЭИ, 2015. - 1 файл. - Систем. требования: Acrobat Reader.

<http://ed.donntu.org/books/17/cd6814.pdf>

4. Системы управления автоматизированным электроприводом переменного тока [Электронный ресурс] : учебное пособие для вузов / А.М. Макаров, А.С. Сергеев, Е.Г. Крылов, Ю.П. Сердобинцев ; Волгоград. гос. техн. ун-т. - 4 Мб. - Волгоград : ВолГТУ, 2016. - 1 файл. - Систем. требования: Acrobat Reader.

<http://ed.donntu.org/books/17/cd6824.pdf>

6 УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Учебно-методические издания, разработанные в ДонНТУ:

5. Методические указания к самостоятельной работе при изучении дисциплины "Комплектный электропривод" [Электронный ресурс] : для обучающихся по направлению подготовки 13.04.02 "Электроэнергетика и электротехника" / ГОУВПО "ДОННТУ", Каф. электропривода и автоматизации пром. установок ; [сост. П.И. Розкаряка]. - 256 Кб. - Донецк : ГОУВПО "ДОННТУ", 2020. - 1 файл. - Систем. требования: Acrobat Reader. <http://ed.donntu.org/books/21/m6061.pdf>

6. Методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине "Комплектный электропривод" [Электронный ресурс] : для обучающихся по направлению подготовки 13.04.02 "Электроэнергетика и электротехника" / ГОУВПО "ДОННТУ", Каф. электропривода и автоматизации пром. установок ; [сост. П.И. Розкаряка]. - 2 Мб. - Донецк : ГОУВПО "ДОННТУ", 2020. - 1 файл. - Систем. требования: Acrobat Reader. <http://ed.donntu.org/books/21/m6062.pdf>

7. Методические указания к выполнению курсового проекта по дисциплине "Комплектный электропривод" [Электронный ресурс] : для обучающихся по направлению подготовки 13.04.02 "Электроэнергетика и электротехника" / ГОУВПО "ДОННТУ", Каф. электропривода и автоматизации пром. установок ; [сост. П.И. Розкаряка]. - 694 Кб. - Донецк : ГОУВПО "ДОННТУ", 2020. - 1 файл. - Систем. требования: Acrobat Reader. <http://ed.donntu.org/books/21/m6063.pdf>

Электронно-информационные ресурсы

ЭБС ДОННТУ – <http://donntu.org/library>.

7 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

7.1 Лекционные занятия:

Учебная аудитория №8.303 учебный корпус 8 для проведения занятий лекционного типа, курсового проектирования, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации (мультимедийное оборудование: компьютер Intel Celeron E1200, операционная система Windows XP Professional x86/64 (академическая подписка DreamSparkPremium), LibreOffice 4.3.2.2, Google Slides (бесплатная версия), мультимедийный проектор, экран; специализированная мебель: доска аудиторная, столы аудиторные, стулья ученические; демонстрационные стенды и плакаты).

7.2 Лабораторные занятия:

Специализированная лаборатория №8.109, корпус 8 для проведения лабораторных занятий, курсового проектирования, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации. Специализированное оборудование: Стенд 1. Лабораторный стенд для исследования систем управления тепловыми процессами и энергетических режимов работы оборудо-

вания. Программный регулятор OВЕН ТРМ 151, измеритель-регулятор OВЕН ТРМ 202, цифровой мультиметр LOVATO DMK3, программируемый логический контроллер VIPA 313SC, преобразователь частоты Danfoss VLT 5000, физическая модель приточной нагревательной установки, содержащая датчик температуры TN-2531, датчик температуры TAD961, вентилятор SUNON DP200A2123XBT, нагреватель NOMACON P=300 Вт, твердотельные реле CARLO GAVAZZI RM1E23AA25. Макет помещения, содержащий термопреобразователь сопротивления TCM 1-3 50M L80, датчик влажности, вентилятор SUNON DP200A2123XBT, нагревательный элемент. Стенд 2. Лабораторный стенд для исследования систем позиционирования и регулирования скорости: стартовый комплект SPEED7.800-7DK20 (центральный процессор CPU313SC VIPA 313-5BF03), датчик емкостной CA18 CLN 12PA, датчик индуктивный IA18 DSN 14 PO, фотодатчик PA 18 CSD 02 PA, модуль питания SPD2460, монитор FA1, монитор FD1, преобразователь частоты Lenze 8200 Vector, сервопозиционер Lenze 9300 EV9321-EP. Стенд 3. Лабораторный стенд для исследования шаговых электроприводов и устройств плавного пуска: преобразователь частоты Unidrive SP 1401, устройство плавного пуска Softstarter PFE-16, модуль питания SPD 2406. AC/DC Converter 24 V, драйвер шагового двигателя MD5 MF15, 5-ти фазный шаговый двигатель A16K-M569W, программируемый логический контроллер VIPA CPU314ST. Стенд 4. Лабораторный стенд для исследования частотно-регулируемых электроприводов при векторном и скалярном управлении: электродвигатель 1LA7073-2AA10 0,55 кВт, преобразователь частоты Unidrive SP 1401 (0.75кВт), преобразователь частоты Comander SK (1.1 кВт). Стенд 5. Лабораторный стенд для исследования регулируемых электроприводов постоянного и переменного тока: силовой преобразователь постоянного тока Mentor II Digital DC Drive, возбудитель FMX5 Field Controller, преобразователь частоты Unidrive SP 1404 (3кВт), двигатель постоянного тока (P=3 кВт), синхронный двигатель с постоянными магнитами, модули расширения, резольвер, энкодер. Стенд 6. Лабораторный стенд для исследования электроприводов постоянного тока с двухзонным регулированием: тиристорный преобразователь DCS 800 (ABB), электродвигатель ПБСТ-42 (P=2,4 кВт), электродвигатель ПБСТ-43 (P=2,8 кВт), управляемый выпрямитель ЭТ-6, датчик фотоимпульсный ПДФ-3У2, датчик кодовый КД-3. Стенд 7. Лабораторный стенд для управления частотно-регулируемым электроприводом от программируемого контроллера: программируемый логический контроллер OВЕН ПЛК100, программируемый логический контроллер VIPA CPU 314ST, преобразователь частоты Lenze 8400, преобразователь SPD 2406. Стенд 8. Лабораторный стенд для исследования частотно-регулируемого электропривода вентилятора: преобразователь частоты Altivar 312HO18M2, электродвигатель асинхронный MEBSA 632-4 (0,18 кВт), вентилятор Soler&Palau CMT/4-180/0.75, многофункциональный измерительный прибор Power Logic PM700.

Приборное обеспечение: регистратор параметров 16-канальный Рекон-08, генератор сигналов Г6-26.

Компьютерное обеспечение: компьютеры Celeron-3,06Ghz/2Gb/400Gb, (ОС - Windows XP Professional x86 и Windows 7 (академическая подписка

DreamSparkPremium), LibreOffice 3.3.0.4 (бесплатная версия), программное обеспечение: для работы с ПЛК VIPA – WinSPS-S7 V5 (бесплатная версия); для работы с преобразователями частоты Unidrive и Comander фирмы Control Technique – STSoft V1.16.0.3, Sypt PRO V 2.5.3, CT Scope V1.1.4 (бесплатная версия); для работы с преобразователями частоты фирмы Lenze – Global Drive Control V4.14.1.0 (бесплатная версия); для работы с ПЛК OBEH – CoDeSys V2.3 (бесплатная версия); для работы с регистратором параметров Рекон – WinRec MC (бесплатная версия); для работы с цифровым мультиметром LOVATO DMK3 – DMK Remote Control (бесплатная версия); для работы с ПЛК Zelio-logic фирмы Schneider Electric – Zelio Soft2 (бесплатная версия); для работы со SCADA Zenon фирмы COPA-DATA – Zenon Editor 6.22, Zenon RunTime (бесплатная версия). Мультимедийный проектор Epson Emp-S52, экран проекционный, специализированная мебель: доска передвижная, столы аудиторные, стулья ученические.

7.3 Самостоятельная работа:

Помещения для самостоятельной работы с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду организации: читальные залы, учебные корпуса 2,3 (компьютерная техника с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду (ЭИОС ДОННТУ) и электронно-библиотечную систему (ЭБС IPRbooks), а также возможностью индивидуального неограниченного доступа обучающихся в ЭБС и ЭИОС посредством Wi-Fi с персональных мобильных устройств. ОС-Microsoft Windows 7, OpenOffice 2.0.3 - общественная лицензия MPL 2.0, Grub loader for ALT Linux - лицензия GNU LGPL v3, Mozilla Firefox - лицензия MPL2.0, Moodle (Modular Object-Oriented Dynamic Learning Environment) - лицензия GNU GPL).