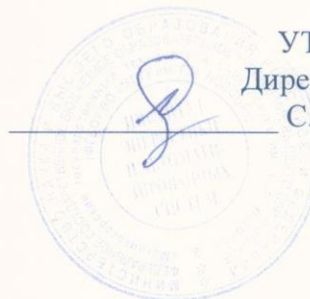




МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»



УТВЕРЖДАЮ  
Директор ИЭиАС  
С.И. Лукьянов

26.02.2020 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

***СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ***

Направление подготовки (специальность)  
15.04.06 МЕХАТРОНИКА И РОБОТОТЕХНИКА

Направленность (профиль/специализация) программы  
Мехатронные системы в автоматизированном производстве

Уровень высшего образования - магистратура  
Программа подготовки - академический магистратура


Форма обучения  
очная

Институт/ факультет	Институт энергетики и автоматизированных систем
Кафедра	Автоматизированного электропривода и мехатроники
Курс	2
Семестр	3


Магнитогорск  
2019 год

Рабочая программа составлена на основе ФГОС ВО по направлению подготовки 15.04.06 МЕХАТРОНИКА И РОБОТОТЕХНИКА (уровень магистратуры) (приказ Минобрнауки России от 21.11.2014 г. № 1491)

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры Автоматизированного электропривода и мехатроники 13.02.2020, протокол № 6

Зав. кафедрой  А.А. Николаев

Рабочая программа одобрена методической комиссией ИЭиАС 26.02.2020 г. протокол № 5

Председатель  С.И. Лукьянов

Рабочая программа составлена:

доцент кафедры АЭПиМ, канд. техн. наук  С.А. Линьков

Рецензент:

зам. начальника ЦЭТЛ ПАО «ММК» по электроприводу, канд. техн. Наук



 А.Ю. Юдин

**Лист актуализации рабочей программы**

---

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2020 - 2021 учебном году на заседании кафедры Автоматизированного электропривода и мехатроники

Протокол от 30 08 2020 г. № 1  
Зав. кафедрой А.А. Николаев

---

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2021 - 2022 учебном году на заседании кафедры Автоматизированного электропривода и мехатроники

Протокол от \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_  
Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ А.А. Николаев

### 1 Цели освоения дисциплины (модуля)

Целями освоения дисциплины «Системы автоматизированного проектирования» являются изучение общих принципов автоматизированного проектирования и развитие у студентов личностных качеств, а также формирование профессиональных компетенций в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению 15.04.06 Мехатроника и робототехника

Задачами дисциплины являются: – усвоение студентами:

- общих сведений о современном состоянии систем автоматизированного проектирования;
- особенностей программного, лингвистического, математического обеспечения САПР;
- приобретение теоретических и практических навыков решения конструкторских задач и геометрического проектирования с использованием реальных САПР.

### 2 Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Дисциплина Системы автоматизированного проектирования входит в базовую часть учебного плана образовательной программы.

Для изучения дисциплины необходимы знания (умения, владения), сформированные в результате изучения дисциплин/ практик:

Регулируемый электропривод постоянного тока

Микропроцессорные средства в мехатронных модулях

Знания (умения, владения), полученные при изучении данной дисциплины будут необходимы для изучения дисциплин/практик:

Подготовка к сдаче и сдача государственного экзамена

Производственная-преддипломная практика

Подготовка к защите и защита выпускной квалификационной работы

### 3 Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины (модуля) и планируемые результаты обучения

В результате освоения дисциплины (модуля) «Системы автоматизированного проектирования» обучающийся должен обладать следующими компетенциями:

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения
ОК-4	готовностью использовать на практике приобретенные умения и навыки в организации исследовательских и проектных работ, выполняемых малыми группами исполнителей
Знать	- организацию исследовательских и проектных работ
Уметь	- организовывать исследовательские и проектные работы
Владеть	- навыками в организации исследовательских и проектных работ
ПК-10	способностью участвовать в разработке конструкторской и проектной документации мехатронных и робототехнических систем в соответствии с имеющимися стандартами и техническими условиями
Знать	- современные стандарты и технические условия
Уметь	- разрабатывать конструкторскую и проектную документацию
Владеть	- способностью участвовать в разработке конструкторской и проектной документации

#### 4. Структура, объём и содержание дисциплины (модуля)

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц 180 акад. часов, в том числе:

- контактная работа – 66,8 акад. часов;
- аудиторная – 63 акад. часов;
- внеаудиторная – 3,8 акад. часов
- самостоятельная работа – 77,5 акад. часов;
- в форме практической подготовки – 10 акад. часов;
- подготовка к экзамену – 35,7 акад. часа

Форма аттестации - курсовой проект, экзамен

Раздел/ тема дисциплины	Семестр	Аудиторная контактная работа (в акад. часах)			Самостоятельная работа студента	Вид самостоятельной работы	Форма текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации	Код компетенции
		Лек.	лаб. зан.	практ. зан.				
1. Раздел 1. Лабораторные работы								
1.1 Основы работы с графическим редактором КОМПАС. Построение видов детали, заполнение штампа.	3		4/2И		6	Оформление лабораторной работы №1	Текущий контроль посещаемости, выборочный опрос	ОК-4
1.2 Построение сопряжений и нанесение размеров.			4/2И		6	Оформление лабораторной работы №2	Текущий контроль посещаемости, выборочный опрос	ОК-4
1.3 Использование локальных систем координат при построении изображений изделий			6/2И		6	Оформление лабораторной работы №3	Текущий контроль посещаемости, выборочный опрос	ОК-4
1.4 Выполнение геометрических построений с использованием команд редактирования. Использование менеджера библиотек при получении однотипных			6/4И		6	Оформление лабораторной работы №4	Текущий контроль посещаемости, выборочный опрос	ОК-4
1.5 Создание 3 D модели. Основные элементы интерфейса 3 D моделирования.			7/4И		6	Оформление лабораторной работы №5	Текущий контроль посещаемости, выборочный опрос	ОК-4
Итого по разделу			27/14И		30			
2. Раздел 2. Практические занятия								
2.1 Создание 3D модели с использованием вспомогательных осей и плоскостей.	3			6/2И	6	Работа над курсовым проектом	Текущий контроль посещаемости, выборочный опрос	ПК-10

2.2 Формирование чертежа детали по заданному варианту. Построение основных видов.			6/2И	6	Работа над курсовым проектом	Текущий контроль посещаемости, выборочный опрос	ПК-10
2.3 Построение разрезов и видов, нанесение основных размеров.			6	6	Работа над курсовым проектом	Текущий контроль посещаемости, выборочный опрос	ПК-10
2.4 Работа с фрагментами. Оформление спецификации.			6	6	Работа над курсовым проектом	Текущий контроль посещаемости, выборочный опрос	ПК-10
2.5 Создание фрагмента заданной детали.			6	6	Работа над курсовым проектом	Текущий контроль посещаемости, выборочный опрос	ПК-10
2.6 Оформление чертежа заданной детали вращения. Выполнение основных видов, разрезов, нанесение			6	17,5	Работа над курсовым проектом	Текущий контроль посещаемости, выборочный опрос	ПК-10
Итого по разделу			36/4И	47,5			
Итого за семестр		27/14И	36/4И	77,5		экзамен, кп	
Итого по дисциплине		27/14И	36/4И	77,5		курсовой проект, экзамен	ОК-4, ПК-10

## **5 Образовательные технологии**

Для реализации предусмотренных видов учебной работы в качестве образовательных технологий в преподавании дисциплины «Системы автоматизированного проектирования» используются традиционная и модульно - компетентностная технологии.

Передача необходимых теоретических знаний и формирование основных представлений по курсу «Системы автоматизированного проектирования» происходит с использованием мультимедийного оборудования.

Лабораторные и практические занятия проходят в традиционной форме и в форме консультаций. На практических занятиях изложение нового материала сопровождается постановкой вопросов и дискуссией в поисках ответов на эти вопросы.

Самостоятельная работа стимулирует студентов в процессе подготовки домашних заданий, при решении задач на практических занятиях, при подготовке к контрольным работам и итоговой аттестации.

Практические/ лабораторные занятия проводятся в форме практической подготовки в условиях выполнения обучающимися видов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью и направленных на формирование, закрепление, развитие практических навыков и компетенций по профилю образовательной программы.

## **6 Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся**

Представлено в приложении 1.

## **7 Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации**

Представлены в приложении 2.

## **8 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)**

### **а) Основная литература:**

1. Извеков, Е. А. Проектирование систем электроснабжения. Курсовое проектирование : учебное пособие / Е. А. Извеков, В. В. Картавец, И. В. Лакомов. — 2-е изд., испр. и доп. — Санкт-Петербург : Лань, 2020. — 152 с. — ISBN 978-5-8114-5016-9. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/147102> (дата обращения: 13.11.2020). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

### **б) Дополнительная литература:**

1. Пантелеев, В. И. Многоцелевая оптимизация и автоматизированное проектирование управления качеством электроснабжения в электроэнергетических системах : монография / В. И. Пантелеев, Л. Ф. Поддубных. - Красноярск : Сибирский федеральный университет, 2009. - 194 с. - ISBN 978-5-7638-1924-3. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/442973> (дата обращения: 13.11.2020). – Режим доступа: по подписке.

2. Назаров, С. В. Операционные системы специализированных вычислительных комплексов: теория построения и системного проектирования / С. В. Назаров. - Москва : Машиностроение, 1989. - 400 с. - ISBN 5-217-00462-2. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/374192> (дата обращения: 13.11.2020). – Режим доступа: по подписке.

### **в) Методические указания:**

Представлено в приложении 3.

**г) Программное обеспечение и Интернет-ресурсы:**

**Программное обеспечение**

Наименование ПО	№ договора	Срок действия лицензии
MS Windows 7 Professional(для классов)	Д-1227-18 от 08.10.2018	11.10.2021
MS Office 2007 Professional	№ 135 от 17.09.2007	бессрочно
АСКОН Компас 3D В.16	Д-261-17 от 16.03.2017	бессрочно

**Профессиональные базы данных и информационные справочные системы**

Название курса	Ссылка
Электронная база периодических изданий East View Information Services, ООО «ИВИС»	<a href="https://dlib.eastview.com/">https://dlib.eastview.com/</a>
Национальная информационно-аналитическая система – Российский индекс научного цитирования (РИНЦ)	URL: <a href="https://elibrary.ru/project_risc.asp">https://elibrary.ru/project_risc.asp</a>
Поисковая система Академия Google (Google Scholar)	URL: <a href="https://scholar.google.ru/">https://scholar.google.ru/</a>
Информационная система - Единое окно доступа к информационным ресурсам	URL: <a href="http://window.edu.ru/">http://window.edu.ru/</a>

**9 Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)**

Материально-техническое обеспечение дисциплины включает:

Лекционная аудитория 023, 227, 123. Мультимедийные средства хранения, передачи и представления информации. Компьютерный класс 023, 227 а.



## **Приложение 1. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся**

Аудиторная самостоятельная работа студентов на лабораторных и практических занятиях осуществляется под контролем преподавателя в виде решения задач и выполнения упражнений, которые определяет преподаватель для студента.

Внеаудиторная самостоятельная работа студентов осуществляется в виде чтения с проработкой материала и выполнения домашних заданий с консультациями преподавателя.

### **Контрольные вопросы к экзамену:**

1. Что такое система автоматизированного проектирования (САПР)?
2. Сформулируйте цель применения системы автоматизированного проектирования.
3. Чем характеризуется степень автоматизации процесса проектирования?
4. Что такое интегрированная САПР?
5. Перечислите основные виды формального описания объектов проектирования.
6. Какие сведения дает проектировщику функциональное описание?
7. Какие функции выполняет автоматизированное рабочее место пользователя (АРМ)?
8. Каким основным принципам должна удовлетворять САПР?
9. Что такое алгоритм проектирования?
10. Что такое алгоритмическое проектирование?
11. Что такое проектная задача?
12. Что такое проектная операция?
13. Что такое проектная процедура?
14. Какую типичную последовательность операций содержит проектная процедура?
15. Что такое проектное решение?
16. Какие проектные решения называются оптимальными?
17. В каких фрагментах проектирования целесообразно применять автоматизацию?
18. В каких фрагментах проектирования нецелесообразно применять автоматизацию?
19. Какие возможности должна предоставлять проектировщику САПР?
20. Какие требования предъявляет САПР к проектировщикам?
21. Что такое обобщенный алгоритм автоматизированного проектирования (АПР)?
22. Какие этапы входят в обобщенную процедуру АПР?
23. Какие действия включает в себя решение отладочной и основной задач?
24. Перечислите виды обеспечения САПР.
25. Что такое техническое обеспечение САПР?
26. Что входит в состав технического обеспечения САПР?
27. Что такое математическое обеспечение?
28. Что включает в себя математическое обеспечение САПР?
29. Что такое моделирование?
30. Перечислите основные виды моделирования.
31. Перечислите требования, предъявляемые к математическим моделям.
32. Какие формы уравнений используются в математических моделях, применяемых в САПР?
33. Что такое программное обеспечение САПР?
34. На какие две группы подразделяют все программное обеспечение САПР?
35. Что входит в общее программное обеспечение?
36. Что входит в специальное программное обеспечение?
37. Какие действия выполняются на этапе разработки специального программного обеспечения?
38. Что такое операционная система?
39. Какие функции выполняет операционная система?
40. Что такое прерывания?
41. Что такое драйверы?

42. Что такое файл?
43. На какие группы подразделяются все пользователи?
44. Какие программы называются резидентными?
45. Перечислите основные функции сети.
46. Перечислите разновидности вычислительных сетей?
47. Перечислите требования к программному обеспечению сетей.
48. Из каких компонент состоят системы программирования?
49. Что такое транслятор?
50. Что такое библиотеки функций?
51. Что такое компоновщик?
52. На какие виды подразделяют трансляторы?
53. Какие программы относят к обрабатывающим?
54. Что такое пакеты программ общего назначения?
55. На какие виды делят пакеты программ общего назначения?
56. Что такое пакет прикладных программ САПР?
57. Перечислите требования, предъявляемые к пакетам прикладных программ.
58. Что такое библиотека прикладных модулей?
59. На какие группы делят средства машинной графики?
60. На какие группы делят диалоговые системы коллективного пользования САПР?
61. Что такое информационное обеспечение?
62. Перечислите основными компоненты информационного обеспечения.
63. Что такое банк данных (банк знаний)?
64. Что такое база данных?
65. Что такое база знаний?
66. Что такое СУБД?
67. Перечислите типы формирования файлов базы данных.
68. Что такое лингвистическое обеспечение?
69. Что такое формальный язык?
70. Что называют морфологией формального языка?
71. Что составляет синтаксис языка?
72. Что называют семантикой языка?
73. Из каких частей состоит лингвистическое обеспечение САПР?
74. Перечислите языковые средства описания управляющего лингвистического обеспечения САПР?
75. Перечислите виды человеко-машинного общения.
76. Перечислите уровни языков программирования.
77. Перечислите функции языковых процессоров.
78. Из каких блоков состоят языковые процессоры?
79. Что такое методическое обеспечение?
80. Какие документы входят в методическое обеспечение САПР?
81. Что входит в описание проектных процедур?
82. Что такое организационное обеспечение?
83. Какие материалы относятся к организационному обеспечению САПР?
84. Основы работы с графическим редактором КОМПАС. Построение видов детали, заполнение штампа.
85. Построение сопряжений и нанесение размеров.
86. Использование локальных систем координат при построении изображений изделий.
87. Выполнение геометрических построений с использованием команд редактирования. Использование менеджера библиотек при получении однотипных изображений чертежей.
88. Создание 3 D модели. Основные элементы интерфейса 3 D моделирования.
89. Создание 3D модели с использованием вспомогательных осей и плоскостей.
90. Формирование чертежа детали по заданному варианту. Построение основных видов.

91. Построение разрезов и видов, нанесение основных размеров.
92. Работа с фрагментами. Оформление спецификации.
93. Создание фрагмента заданной детали.
94. Оформление чертежа заданной детали вращения. Выполнение основных видов, разрезов, нанесение размеров.
95. Оформление заданной детали в 3-D.

**Приложение 2. Оценочные средства для проведения текущей аттестации по дисциплине**

**а) Планируемые результаты обучения и оценочные средства для проведения промежуточной аттестации:**

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
ОК-4 готовностью использовать на практике приобретенные умения и навыки в организации исследовательских и проектных работ, выполняемых малыми группами исполнителей		
Знать	– Организацию исследовательских и проектных работ	<p><b>Контрольные вопросы</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Что такое система автоматизированного проектирования (САПР)?</li> <li>2. Сформулируйте цель применения системы автоматизированного проектирования.</li> <li>3. Чем характеризуется степень автоматизации процесса проектирования?</li> <li>4. Что такое интегрированная САПР?</li> <li>5. Перечислите основные виды формального описания объектов проектирования.</li> <li>6. Какие сведения дает проектировщику функциональное описание?</li> <li>7. Какие функции выполняет автоматизированное рабочее место пользователя (АРМ)?</li> <li>8. Каким основным принципам должна удовлетворять САПР?</li> <li>9. Что такое алгоритм проектирования?</li> <li>10. Что такое алгоритмическое проектирование?</li> <li>11. Что такое проектная задача?</li> <li>12. Что такое проектная операция?</li> <li>13. Что такое проектная процедура?</li> <li>14. Какую типичную последовательность операций содержит проектная процедура?</li> <li>15. Что такое проектное решение?</li> <li>16. Какие проектные решения называются оптимальными?</li> <li>17. В каких фрагментах проектирования целесообразно применять автоматизацию?</li> <li>18. В каких фрагментах проектирования нецелесообразно применять</li> </ol>

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		<p>автоматизацию?</p> <p>19. Какие возможности должна предоставлять проектировщику САПР?</p> <p>20. Какие требования предъявляет САПР к проектировщикам?</p> <p>21. Что такое обобщенный алгоритм автоматизированного проектирования (АПР)?</p> <p>22. Какие этапы входят в обобщенную процедуру АПР?</p> <p>23. Какие действия включает в себя решение отладочной и основной задач?</p> <p>24. Перечислите виды обеспечения САПР.</p> <p>25. Что такое техническое обеспечение САПР?</p> <p>26. Что входит в состав технического обеспечения САПР?</p> <p>27. Что такое математическое обеспечение?</p> <p>28. Что включает в себя математическое обеспечение САПР?</p> <p>29. Что такое моделирование?</p> <p>30. Перечислите основные виды моделирования.</p> <p>31. Перечислите требования, предъявляемые к математическим моделям.</p> <p>32. Какие формы уравнений используются в математических моделях, применяемых в САПР?</p> <p>33. Что такое программное обеспечение САПР?</p> <p>34. На какие две группы подразделяют все программное обеспечение САПР?</p> <p>35. Что входит в общее программное обеспечение?</p> <p>36. Что входит в специальное программное обеспечение?</p> <p>37. Какие действия выполняются на этапе разработки специального программного обеспечения?</p> <p>38. Что такое операционная система?</p> <p>39. Какие функции выполняет операционная система?</p> <p>40. Что такое прерывания?</p>
Уметь	– Организовывать исследовательские и проектные работы	<p>Выполнение лабораторных работ №1-2</p> <p>Темы лабораторных работ.</p> <p>1. Проектирование принципиальной аналоговой схемы САР скорости двигателя</p>

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		<p>постоянного тока</p> <p>2. Расчет элементов принципиальной аналоговой схемы САР скорости двигателя постоянного тока</p>
Владеть	– Навыками в организации исследовательских и проектных работ	<p>Выполнение лабораторных работ №1-2</p> <p>1. Проектирование принципиальной аналоговой схемы САР скорости двигателя постоянного тока</p> <p>1.1. Нарисовать принципиальную схему системы управления (САРС) двигателя постоянного тока, руководствуясь функциональной схемой</p> <p>2. Расчет элементов принципиальной аналоговой схемы САР скорости двигателя постоянного тока</p> <p>2.1. Рассчитайте элементы принципиальной аналоговой схемы САР скорости двигателя постоянного тока ,реализованной на операционных усилителях</p>
ПК-10 способностью участвовать в разработке конструкторской и проектной документации мехатронных и робототехнических систем в соответствии с имеющимися стандартами и техническими условиями		
Знать	Современные стандарты и технические условия	<p><b>Контрольные вопросы</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Что такое драйверы?</li> <li>2. Что такое файл?</li> <li>3. На какие группы подразделяются все пользователи?</li> <li>4. Какие программы называются резидентными?</li> <li>5. Перечислите основные функции сети.</li> <li>6. Перечислите разновидности вычислительных сетей?</li> <li>7. Перечислите требования к программному обеспечению сетей.</li> <li>8. Из каких компонент состоят системы программирования?</li> <li>9. Что такое транслятор?</li> <li>10. Что такое библиотеки функций?</li> <li>11. Что такое компоновщик?</li> <li>12. На какие виды подразделяют трансляторы?</li> <li>13. Какие программы относят к обрабатывающим?</li> </ol>

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		<p>14. Что такое пакеты программ общего назначения?</p> <p>15. На какие виды делят пакеты программ общего назначения?</p> <p>16. Что такое пакет прикладных программ САПР?</p> <p>17. Перечислите требования, предъявляемые к пакетам прикладных программ.</p> <p>18. Что такое библиотека прикладных модулей?</p> <p>19. На какие группы делят средства машинной графики?</p> <p>20. На какие группы делят диалоговые системы коллективного пользования САПР?</p> <p>21. Что такое информационное обеспечение?</p> <p>22. Перечислите основными компоненты информационного обеспечения.</p> <p>23. Что такое банк данных (банк знаний)?</p> <p>24. Что такое база данных?</p> <p>25. Что такое база знаний?</p> <p>26. Что такое СУБД?</p> <p>27. Перечислите типы формирования файлов базы данных.</p> <p>28. Что такое лингвистическое обеспечение?</p> <p>29. Что такое формальный язык?</p> <p>30. Что называют морфологией формального языка?</p> <p>31. Что составляет синтаксис языка?</p> <p>32. Что называют семантикой языка?</p> <p>33. Из каких частей состоит лингвистическое обеспечение САПР?</p> <p>34. Перечислите языковые средства описания управляющего лингвистического обеспечения САПР?</p> <p>35. Перечислите виды человеко-машинного общения.</p> <p>36. Перечислите уровни языков программирования.</p> <p>37. Перечислите функции языковых процессоров.</p> <p>38. Из каких блоков состоят языковые процессоры?</p> <p>39. Что такое методическое обеспечение?</p> <p>40. Какие документы входят в методическое обеспечение САПР?</p> <p>41. Что входит в описание проектных процедур?</p> <p>42. Что такое организационное обеспечение?</p>

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		<p>43. Какие материалы относятся к организационному обеспечению САПР?</p> <p><b>Контрольные вопросы к экзамену:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Основы работы с графическим редактором КОМПАС. Построение видов детали, заполнение штампа.</li> <li>2. Построение сопряжений и нанесение размеров.</li> <li>3. Использование локальных систем координат при построении изображений изделий.</li> <li>4. Выполнение геометрических построений с использованием команд редактирования. Использование менеджера библиотек при получении однотипных изображений чертежей.</li> <li>5. Создание 3 D модели. Основные элементы интерфейса 3 D моделирования.</li> <li>6. Создание 3D модели с использованием вспомогательных осей и плоскостей.</li> <li>7. Формирование чертежа детали по заданному варианту. Построение основных видов.</li> <li>8. Построение разрезов и видов, нанесение основных размеров.</li> <li>9. Работа с фрагментами. Оформление спецификации.</li> <li>10. Создание фрагмента заданной детали.</li> <li>11. Оформление чертежа заданной детали вращения. Выполнение основных видов, разрезов, нанесение размеров.</li> <li>12. Оформление заданной детали в 3-D.</li> </ol>
Уметь	Разрабатывать конструкторскую и проектную документацию	<p><b>Перечень заданий для курсового проекта</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Создать проект в программе Альтиум Дизайнер</li> <li>2. Выбрать в глобальной библиотеке Альтиум Дизайнер нужные элементы для создания принципиальной схемы системы управления двигателем. При отсутствии нужной детали, нарисовать 3D модель.</li> </ol>



Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		3. Нарисовать принципиальную схему в программе Альтиум Дизайнер принципиальную схемы системы управления двигателем на аналоговых элементах 4. Конвертировать разработанный проект в печатную плату 5. Произвести автоматическую и ручную трассировку печатной платы 6. Импортировать проект в приложение Word
Владеть	Способностью участвовать в разработке конструкторской и проектной документации	<b>Выполнение курсового проекта</b> 1. Выполнение геометрических построений с использованием команд редактирования. Использование менеджера библиотек при получении однотипных изображений чертежей. 2. Создание 3 D модели. Основные элементы интерфейса 3 D моделирования. 3. Создание 3D модели с использованием вспомогательных осей и плоскостей. 4. Формирование чертежа детали по заданному варианту. Построение основных видов. 5. Построение разрезов и видов, нанесение основных размеров. 6. Работа с фрагментами. Оформление спецификации. 7. Создание фрагмента заданной детали. 8. Оформление чертежа заданной детали вращения. Выполнение основных видов, разрезов, нанесение размеров. 9. Оформление заданной детали в 3-D. 10. Нарисовать принципиальную схему в программе Альтиум Дизайнер принципиальную схемы системы управления двигателем на аналоговых элементах 11. Конвертировать разработанный проект в печатную плату 12. Произвести автоматическую и ручную трассировку печатной платы 13. Оформить пакет документов спроектированной САПР.

## **б) Порядок проведения промежуточной аттестации, показатели и критерии оценивания:**

Для подготовки к экзамену студент должен освоить все изучаемые темы, в том числе и отведенные для самостоятельного изучения, выполнить и сдать курсовой проект и выполнить все лабораторные работы.

Критерии оценки:

- на оценку **«отлично»** – обучающийся показывает высокий уровень сформированности компетенций, т.е. студент должен показать высокий уровень знаний не только на уровне воспроизведения и объяснения информации, но и интеллектуальные навыки решения задач, нахождения уникальных ответов к проблемам, оценки и вынесения критических суждений;
- на оценку **«хорошо»** – обучающийся показывает средний уровень сформированности компетенций, т.е. студент должен показать знания не только на уровне воспроизведения и объяснения информации, но и интеллектуальные навыки решения проблем и задач, нахождения уникальных ответов к проблемам;
- на оценку **«удовлетворительно»** – обучающийся показывает пороговый уровень сформированности компетенций, т.е. студент должен показать знания на уровне воспроизведения и объяснения информации, интеллектуальные навыки решения простых задач;
- на оценку **«неудовлетворительно»** – результат обучения не достигнут, студент не может показать знания на уровне воспроизведения и объяснения информации, не может показать интеллектуальные навыки решения простых задач.

Приложение 3

**Рецензенты:**

Зам директора по УМР Новотроицкого филиала НИТУ «МИСиС»  
доцент, кандидат технических наук  
**С. Н. Басков**

Генеральный директор ООО НТЦ «Приводная техника»  
**С. А. Чупин**

**Фомин, Н.В.**

**Системы управления электроприводов. Курсовое проектирование:** учеб. пособие / Н. В. Фомин. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г. И. Носова, 2015. – 95 с.

Рассмотрены вопросы построения систем подчиненного регулирования координат с последовательной коррекцией. Приведены необходимые формулы для расчета регуляторов, представлены примеры покомтурной настройки основных систем регулирования электроприводов постоянного тока: однозонной, двухзонной и позиционной.

Представлены варианты заданий для выполнения курсового проектирования, приведены технические данные электрических двигателей, силового электрооборудования, тахогенераторов, селенянов.

В приложениях рассмотрены примеры реализации элементов системы управления электроприводом на основе операционных усилителей.

Пособие предназначено для студентов специальностей 140604 – «Электропривод и автоматика промышленных установок и технологических комплексов», 220401 – «Мехатроника» и аспирантов специальности 05.09.03 – «Электро-технические комплексы и системы».

**ВВЕДЕНИЕ**

Дисциплина «Системы управления электроприводов» (СУЭП) для студентов, обучающихся по профилю 140400 «Электропривод и автоматика» направления «Электроэнергетика и электротехника» и 221000 «Мехатроника и робототехника» направления «Мехатронные системы в автоматизированном производстве», является одной из основных теоретических и практических специальных дисциплин. Изучение курса базируется на знании дисциплин «Теория автоматического управления», «Теория электропривода», «Преобразовательная техника», «Элементы систем автоматизации».

Завершающим этапом изучения дисциплины СУЭП является выполнение курсового проекта. Целью выполнения курсового проекта является разработка, реализация и анализ системы автоматического управления электропривода постоянного или переменного тока, отвечающей современному состоянию автоматизированных электроприводов.

В учебном пособии рассматриваются вопросы разработки систем управления электроприводом постоянного тока, силовая часть которого выполнена по системе тиристорный преобразователь – двигатель (ТП – Д), система управления строится по принципу подчиненного регулирования координат с последовательной коррекцией. Приведены варианты заданий для выполнения курсового проекта, представлены основные теоретические материалы, позволяющие выполнить построение контуров регулирования системы управления, в приложениях приведены технические параметры основных элементов силовой части электропривода, даны примеры реализации датчиков обратной связи.

## 1. ТЕМАТИКА И СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

В пособии рассматриваются три основные (типовые) тематики курсовых проектов:

- разработка системы управления электроприводом (СУЭП) скорости электропривода постоянного тока;
- разработка позиционной СУЭП электропривода постоянного тока;
- разработка двухзонной СУЭП электропривода постоянного тока.

Возможна и выдача индивидуального задания, в частности, разработка системы управления электроприводом механизма, заданного в курсовом проекте по дисциплине «Теория электропривода».

В типовых вариантах тематики задается электродвигатель постоянного тока, основные параметры механизма и показатели качества регулирования, которые необходимо обеспечить.

### 1.1. Содержание курсового проекта

Курсовой проект состоит из пояснительной записки и графической части [1].

Пояснительная записка курсового проекта должна содержать:

- *Титульный лист.*
- *Задание на курсовой проект.*
- *Содержание.*
- *Введение.*
- *Основная часть.*
- *Заключение.*
- *Библиографический список.*

*Содержание основной части для разработки СУЭП скорости:*

«Разработка системы управления скоростью электропривода постоянного тока»

- 1 Характеристика объекта регулирования.
  - 1.1 Технические данные электродвигателя.
  - 1.2 Выбор и характеристики тиристорного преобразователя.
  - 1.3 Основные параметры объекта регулирования.
- 2 Построение СУЭП скорости (ЭДС).
  - 2.1 Построение контура регулирования тока.
    - 2.1.1 Контур регулирования тока. Стандартный вариант регулятора тока.
    - 2.1.2 Адаптивный регулятор с эталонной моделью (двойной регулятор тока).
  - 2.1.3 Анализ влияния внутренней обратной связи по ЭДС двигателя на работу контура тока, компенсация влияния ЭДС двигателя (при необходимости).

- 2.1.4 Оценка величины производной якорного тока. Задатчик интенсивности тока.

### 2.2 Построение контура регулирования скорости (ЭДС).

- 2.2.1 Контур регулирования скорости (ЭДС), оценка заданной точности регулирования скорости (ЭДС).
- 2.2.2 Выбор тахогенератора (датчика ЭДС), реализация обратной связи по скорости (ЭДС).
- 2.2.3 Задатчик интенсивности скорости.

### 3 Реализация СУЭП.

- 3.1 Принципиальная электрическая схема СУЭП. Общая характеристика основных элементов системы.
- 3.2 Расчет элементов контура регулирования тока.
- 3.3 Расчет элементов контура регулирования скорости (ЭДС).
- 3.4 Расчет элементов задатчика интенсивности скорости.

### 4 Анализ динамических и статических режимов спроектированного электропривода.

- 4.1 Статические характеристики спроектированного электропривода. Модель СУЭП спроектированного электропривода.
- 4.2 Переходные процессы спроектированного электропривода.
- 4.3 Определение основных показателей качества регулирования.

Варианты заданий на тему «Разработка системы управления скоростью электропривода постоянного тока» приведены в приложении А, таблицы А.1, А.4.

*Содержание основной части для разработки позиционной СУЭП:*

«Разработка позиционной системы управления электроприводом постоянного тока»

- 1 Характеристика объекта регулирования.
  - 1.1 Технические данные электродвигателя.
  - 1.2 Выбор и характеристики тиристорного преобразователя.
  - 1.3 Основные параметры объекта регулирования.
- 2 Построение позиционной СУЭП.
  - 2.1 Построение контура регулирования тока.
    - 2.1.1 Контур регулирования тока. Стандартный вариант регулятора тока.
    - 2.1.2 Адаптивный регулятор с эталонной моделью (двойной регулятор тока).
  - 2.1.3 Анализ влияния внутренней обратной связи по ЭДС двигателя на работу токового контура, компенсация влияния ЭДС двигателя (при необходимости).

- 2.2 Построение контура регулирования скорости.
- 2.2.1 Контур регулирования скорости, оценка заданной точности регулирования.
- 2.2.2 Датчик интенсивности скорости.
- 2.3 Построение контура регулирования положения (перемещения).
- 2.3.1 Контур регулирования положения (перемещения).
- 2.3.2 Выбор измерительного редуктора и сельсинов, реализация обратной связи по положению (перемещению).
- 2.3.3 Построение регулятора положения при малых перемещениях.
- 2.3.4 Построение регулятора положения при больших перемещениях.
- 2.3.5 Нелинейный регулятор положения.
- 3 Реализация СУЭП.
- 3.1 Принципиальная электрическая схема СУЭП. Общая характеристика основных элементов системы.
- 3.2 Расчет элементов контура регулирования тока.
- 3.3 Расчет элементов контура регулирования скорости.
- 3.4 Расчет элементов контура регулирования положения, реализация нелинейного регулятора положения.
- 4 Анализ динамических режимов спроектированного электропривода.
- 4.1 Модель СУЭП спроектированного электропривода.
- 4.2 Переходные процессы спроектированного электропривода.
- 4.3 Определение основных показателей качества регулирования.

Варианты заданий на тему «Разработка позиционной системы управления электроприводом постоянного тока» приведены в приложении А, таблица А.2, А.4.

*Содержание основной части для разработки двухзонной СУЭП скорости:*

«Разработка двухзонной системы управления скоростью электропривода постоянного тока»

- 1 Характеристика объекта регулирования.
- 1.1 Технические данные электродвигателя, эксплуатационная характеристика и кривая намагничивания.
- 1.2 Выбор и характеристики тиристорного преобразователя.
- 1.3 Выбор и характеристики тиристорного возбудителя.
- 1.4 Основные параметры объекта регулирования.
- 2 Построение двухзонной СУЭП скорости.
- 2.1 Построение СУЭП скорости изменением напряжения якоря двигателя.
- 2.1.1 Построение контура регулирования тока.

- 2.1.1.1 Контур регулирования тока. Стандартный вариант регулятора тока.
- 2.1.1.2 Анализ влияния внутренней обратной связи по ЭДС двигателя, компенсация влияния ЭДС двигателя (при необходимости).
- 2.1.2 Построение контура регулирования скорости.
- 2.1.2.1 Контур регулирования скорости, оценка заданной точности регулирования скорости.
- 2.1.2.2 Компенсация изменения параметров объекта регулирования во второй зоне, изменяемое токоограничение.
- 2.1.2.3 Выбор тахогенератора, реализация обратной связи по скорости.
- 2.1.2.4 Датчик интенсивности скорости.
- 2.2 Построение СУЭП скорости изменением магнитного потока двигателя.
- 2.2.1 Построение контура регулирования тока возбуждения (магнитного потока).
- 2.2.1.1 Реализация обратной связи по току возбуждения (потока) двигателя.
- 2.2.1.2 Расчет нелинейного элемента, моделирующего кривую намагничивания двигателя.
- 2.2.2 Построение контура регулирования ЭДС двигателя.
- 2.2.2.1 Контур регулирования ЭДС, компенсация изменения параметров объекта регулирования.
- 2.2.2.2 Ограничение максимального и минимального задания тока возбуждения (магнитного потока).
- 2.2.2.3 Выбор и расчет датчика ЭДС.
- 3 Реализация СУЭП.
- 3.1 Принципиальная электрическая схема СУЭП. Общая характеристика основных элементов системы.
- 3.2 Расчет элементов контура регулирования якорного тока.
- 3.3 Расчет элементов контура регулирования скорости с регулируемым токоограничением.
- 3.4 Расчет элементов контура регулирования тока возбуждения (магнитного потока) с моделью кривой намагничивания.
- 3.5 Расчет элементов контура регулирования ЭДС двигателя с датчиком ЭДС и блоком выделения модуля.
- 4 Анализ динамических режимов спроектированного электропривода.
- 4.1 Модель СУЭП спроектированного электропривода.
- 4.2 Переходные процессы спроектированного электропривода.
- 4.3 Определение основных показателей качества регулирования.

Варианты заданий на тему «Разработка двухзонной системы управления скоростью электропривода постоянного тока» приведены в приложении А, таблица А.3, А.4.

### 1.2. Содержание графической части проекта

Графическая часть проекта выполняется на листе формата А1, на котором в обязательном порядке должны быть представлены:

- принципиальная электрическая схема силовой части электропривода;
- структурная схема СУЭП электропривода;
- принципиальная электрическая схема СУЭП электропривода;
- переходные процессы спроектированного электропривода;
- основные показатели качества регулирования.

При необходимости или по рекомендации преподавателя графическая часть проекта может быть дополнена.

## 2. ОФОРМЛЕНИЕ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Курсовой проект состоит из пояснительной записки объемом 40-55 страниц и графической части на листе формата А1. К пояснительной записке прилагается диск с текстом пояснительной записки и моделью спроектированной системы управления. Оформление пояснительной записки и графической части проекта должно соответствовать стандарту [1].

При оформлении пояснительной записки необходимо выполнять следующие требования:

- все расчеты выполняются в основных единицах измерения международной системы, после основных единиц измерения возможно указание производных единиц;
- все позиции формулы должны быть расшифрованы;
- нумеруются только те формулы, на которые далее следуют ссылки в тексте;
- при выполнении расчетов сначала приводится формула в общем виде, а затем – в числовом выражении для всех позиций формулы;
- рисунки и таблицы должны следовать сразу за первой ссылкой на них в тексте;
- в названиях разделов и подразделов сокращения не допустимы;
- литературные источники должны иметь сквозную нумерацию, если в тексте нет ссылок на соответствующую литературу, ее не должно быть в списке использованных источников;
- пояснительная записка оформляется безлично.

По рекомендации преподавателя для защиты курсового проекта может быть представлена презентация, в состав которой в обязательном

порядке должны быть включены пункты графической части проекта и дополнительные пункты, позволяющие расширенно представить результаты работы над курсовым проектом.

## 3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

В данном разделе рассматриваются основные вопросы по выполнению курсового проекта, причем основное внимание уделено подразделам и вопросам, которые в недостаточной степени рассмотрены в учебной и технической литературе.

### 3.1. Объект регулирования

Технические данные электродвигателя.

Полные технические данные и параметры электродвигателя приведены в [8-10], каталогах, справочниках и приложении Б. Для системы двухзонного регулирования скорости необходимо привести кривую намагничивания, для построения которой можно использовать универсальную кривую намагничивания.

#### 3.1.1. Выбор и характеристика тиристорного преобразователя

Выбор тиристорного преобразователя (ТП) и расчет его характеристик проводится в соответствии с методиками, рассмотренными в курсах «Преобразовательная техника» и «Теория электропривода» [13,16,18].

Выбор ТП производится по номинальным данным электродвигателя в соответствии с соотношениями:

$$U_{дн} \geq U_{тп}, I_{дн} \geq I_{тп} \lambda / \lambda_{ТП},$$

где  $U_{дн}$  – номинальное выпрямленное напряжение ТП, В;

$I_{дн}$  – номинальный выпрямленный ток ТП, А;

$\lambda, \lambda_{ТП}$  – перегрузочная способность по току двигателя и ТП соответственно.

Полные технические данные по ТП приведены в [19]. Для питания двигателя выбирается реверсивный ТП с отдельным управлением вентильными группами и мостовой схемой выпрямления. Для ТП с выпрямленным напряжением 220 В рекомендуется выбирать трансформаторный вариант питания ТП, в остальных случаях (при  $U_{дн} = 440$  В) подключение ТП к питающей сети ~380 В необходимо осуществлять через токоограничивающий реактор.

В курсовом проекте необходимо представить принципиальную электрическую схему силовых цепей электропривода, особое внимание уделить месту подключения датчиков обратных связей и элементам защиты ТП и двигателя:

- защита от аварийных токов в цепи переменного тока;
- защита от перенапряжений на обмотках трансформатора и тиристорах;
- защита от аварийных токов в цепи выпрямителя;
- защита от включения ТП на вращающийся двигатель;
- защита от обрыва поля и перенапряжений на обмотке возбуждения двигателя и другие виды защит.

В пояснительной записке необходимо привести регулировочную характеристику ТП  $E_d = f(U_y)$  и ее расчет (свести в таблицу) с учетом ограничения углов регулирования  $\alpha_{max}$  ( $\alpha_{mid}$ ) [15,18]. При расчете регулировочной характеристики следует принимать начальные значения углов регулирования  $\alpha_{1нач} = \alpha_{2нач} = 95^\circ - 105^\circ$ , расчет выполнять в диапазоне изменения напряжения управления  $-10В \leq U_y \leq +10В$  с учетом ограничения углов регулирования.

Кроме того, необходимо привести тип и технические данные трансформатора (реактора) для расчета параметров объекта регулирования.

### 3.1.2. Выбор и характеристика тиристорного возбудителя

Для двухзонной СУЭП скорости необходимо выбрать неперевосимый тиристорный возбудитель (ТВ), который может входить в состав комплекта тиристорного электропривода. Выбор ТВ производится из условий:

$$U_{дв} \geq \alpha U_{нв}, \quad I_{дв} \geq I_{нв},$$

где  $U_{дв}, I_{дв}$  – номинальные напряжение и ток ТВ;

$U_{нв}, I_{нв}$  – номинальные напряжение и ток возбуждения двигателя;

$\alpha = U_{max} / U_{нв}$  – коэффициент форсировки возбуждения.

В курсовом проекте нужно обеспечить максимальное быстродействие контура регулирования тока возбуждения (потока), поэтому необходимо принять коэффициент форсировки  $\alpha = 3-5$ , для чего нужен ТВ с максимально возможным выпрямленным напряжением, т.е.  $U_{дв} = 440-460 В$ . В пояснительной записке необходимо привести регулировочную характеристику ТВ, ее расчет (свести в таблицу) с учетом необходимого ограничения углов регулирования, а также технические данные трансформатора (реактора) [13,14,19]. Принципиальная электрическая схема ТВ должна быть совмещена с принципиальной электрической схемой силовой части электропривода.

### 3.1.3. Основные параметры объекта регулирования

На рисунках 1-4 представлены структурные схемы объектов регулирования системы ТП – Д для рассматриваемых тем курсового проекта.

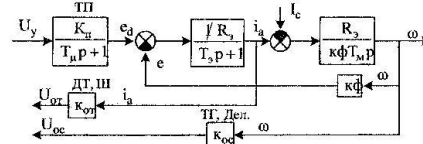


Рисунок 1 – Структурная схема объекта регулирования в СУЭП скорости

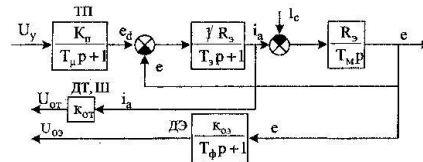


Рисунок 2 – Структурная схема объекта регулирования в СУЭП скорости (ЭДС) с обратной связью по ЭДС двигателя

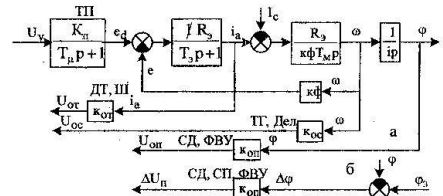


Рисунок 3 – Структурная схема объекта регулирования в позиционной СУЭП (а – СУЭП положения; б – СУЭП перемещения)



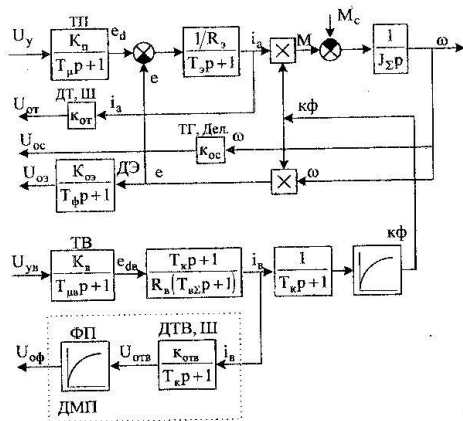


Рисунок 4 – Структурная схема объекта регулирования в двухканальной САУ

**Тиристорный преобразователь и возбудитель**

Коэффициенты усиления ТП и ТВ рассчитываются по их характеристикам управления.

С ТП и ТВ совмещен эквивалентный фильтр прямого канала регулирования с некомпенсируемой постоянной времени  $T_u$ .

В случае применения адаптивного регулятора тока или стандартного регулятора тока значения некомпенсируемой постоянной времени ТП и ТВ можно принять одинаковыми в пределах 5 – 10 мс.

В случае применения двойного регулятора тока (двойной контур регулирования якорного тока) ТП представляется безынерционным звеном, а эквивалентный фильтр прямого канала реализуется первым (внутренним) замкнутым контуром регулирования тока. Здесь реализуется предельное быстродействие и некомпенсируемая постоянная времени для шестипульсной схемы ТП составляет 3,3 мс. Некомпенсируемая постоянная времени ТВ в этом случае лежит в пределах 5 – 10 мс.

**Якорная цепь электропривода**

В СУЭП скорости и позиционной СУЭП применяют двигатели серии Д, которые можно включать *без сглаживающего дросселя*. В двухканальной СУЭП при использовании двигателей серии П относительно небольшой мощности (без компенсационной обмотки) индуктивности цепи выпрямленного тока (якорь двигателя и трансформатор или реактор) обычно достаточно для сглаживания пульсаций выпрямленного тока до 10 – 15% и сглаживающий дроссель также не нужен.

Поэтому эквивалентное сопротивление якорной цепи системы ТП-Д можно определить по формуле

$$R_{\Sigma} = I_a R_a + a_a (R_T + mX_T / (2\pi)),$$

где  $R_a = \beta(\gamma_{\text{я}} + \gamma_{\text{ял}} + \gamma_{\text{с}})$  – активное сопротивление якоря двигателя, Ом;  
 $\beta = 1,24 - 1,32$  – коэффициент приведения сопротивления к рабочей температуре двигателя;

$\gamma_{\text{я}}, \gamma_{\text{ял}}, \gamma_{\text{с}}$  – активное сопротивление якорной обмотки, обмоток дополнительных полюсов и стабилизирующей при температуре 20 – 25°C, Ом;

$a_a = 2$  – схемный коэффициент для мостовой схемы выпрямления;

$R_T = P_{\text{кз}} / 3I_{2\text{фн}}^2$  – активное сопротивление трансформатора (реактора), Ом;

$P_{\text{кз}}$  – потери короткого замыкания трансформатора, Вт;

$I_{2\text{фн}}$  – номинальный фазный ток трансформатора, А;

$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2}$  – индуктивное сопротивление трансформатора, Ом;

$Z_T = e_{\text{кз}} U_{2\text{фн}} / (100 * I_{2\text{фн}})$  – полное сопротивление фазы трансформатора, Ом;

$e_{\text{кз}}$  – ЭДС короткого замыкания трансформатора, %;

$U_{2\text{фн}}$  – номинальное вторичное фазное напряжение трансформатора, В.

Эквивалентная индуктивность якорной цепи системы ТП – Д определяется по формуле

$$L_{\Sigma} = L_a + a_a L_T,$$

где  $L_a = 0,6 U_n / (p_n I_n \omega_n)$  – индуктивность якоря несокращенного двигателя, Гн;

$U_n, I_n, \omega_n, p_n$  – номинальные напряжение, ток, частота вращения и число главных полюсов двигателя соответственно;

$L_{\tau} = X_{\tau} / (2 \cdot \pi \cdot f_c)$  – индуктивность трансформатора (реактора), Гн.

Эквивалентная постоянная времени  $T_3$  якорной цепи системы ТП – Д определяется по формуле

$$T_3 = L_3 / R_3.$$

Электромагнитная постоянная времени двигателя (необходима в СУЭП, где применяется датчик ЭДС) рассчитывается по формуле

$$T_n = L_n / R_n.$$

#### Механическое звено электропривода

Суммарный момент инерции электропривода  $J_{\Sigma}$ , приведенный к валу двигателя, определяется выражением

$$J_{\Sigma} = J_{дв} (1 + J_{мех} / J_{дв}),$$

где  $J_{дв}$  – момент инерции двигателя, кг·м<sup>2</sup>;

$J_{мех}$  – момент инерции механизма, кг·м<sup>2</sup>.

Электрохимическая постоянная времени  $T_M$  электропривода рассчитывается по формуле

$$T_M = J_{\Sigma} R_{\Omega} / c^2,$$

где  $c = k\Phi_n = (U_n - I_n R_{\Omega}) / \omega_n$  – постоянная двигателя, В·с.

Электромагнитная постоянная времени цепи возбуждения двигателя рассчитывается по формуле

$$T_{ОВ} = \frac{L_n}{R_n} = \frac{2p_n w^2}{a_n^2 R_n} \left( \frac{d\Phi}{dF} + \frac{\Phi_n (\sigma_n - 1)}{F_n} \right),$$

где  $p_n$  – число пар главных полюсов двигателя;

$a_n$  – число параллельных ветвей обмотки возбуждения;

$R_n$  – активное сопротивление цепи возбуждения, приведенное к рабочей температуре, Ом;

$\Phi_n$ ,  $F_n$  – номинальный магнитный поток и намагничивающая сила, приходящиеся на один главный полюс двигателя, соответственно;

$\sigma_n = (1,1 - 1,2)$  – коэффициент рассеяния;

$w$  – число витков обмотки возбуждения, приходящиеся на один главный полюс двигателя.

Электромагнитная постоянная времени контура вихревых токов  $T_k$  принимается равной

$$T_k = (0,1 - 0,15) T_{ОВ}.$$

Суммарная электромагнитная постоянная времени цепи возбуждения  $T_{ВЭ}$  рассчитывается по формуле

$$T_{ВЭ} = T_{ОВ} + T_k.$$

Коэффициент цепи возбуждения (аппроксимирует кривую намагничивания двигателя при построении контура регулирования магнитного потока) рассчитывается по формуле:

$$K_{\Phi} = K\Phi_n / I_{нн},$$

где  $I_{нн}$  – номинальный ток возбуждения двигателя, А.

#### Цепи обратных связей

Коэффициенты обратных связей должны обеспечить работу элементов СУЭП (операционных усилителей, датчиков) в рабочем диапазоне  $\pm 10$  В. В общем виде коэффициент обратной связи  $K_{oi}$  для  $i$ -го параметра  $X_i$  может быть рассчитан по формуле

$$K_{oi} = (8 - 10) V / X_{imax}.$$

В курсовом проекте рекомендуется выбирать максимальное значение напряжения обратной связи, равное 10 В.

Тогда коэффициент обратной связи по току якоря двигателя определяется

$$K_{oi} = K_{ш} K_{дт} = 10V / I_n,$$

где  $\lambda$  – перегрузочная способность двигателя по току;

$K_{ш}$ ,  $K_{дт}$  – передаточные коэффициенты шунта и датчика тока соответственно.

Коэффициент обратной связи по скорости двигателя определится

$$K_{oc} = K_{ш} K_{дт} = 10V / \omega_{max}.$$