



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)

ОСНОВЫ НАУЧНОЙ И ИННОВАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Направление подготовки (специальность)
15.03.06 МЕХАТРОНИКА И РОБОТОТЕХНИКА

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

Уровень высшего образования - бакалавриат
Программа подготовки - академический бакалавриат

Форма обучения
заочная

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

Магнитогорск
2020 год



Лист актуализации рабочей программы

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

Протокол от _____ 20__ г. № ____
Зав. кафедрой _____ А.А. Николаев

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2022 - 2023 учебном году на заседании кафедры Автоматизированного электропривода и

Протокол от _____ 20__ г. № ____
Зав. кафедрой _____ А.А. Николаев

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2023 - 2024 учебном году на заседании кафедры Автоматизированного электропривода и

Протокол от _____ 20__ г. № ____
Зав. кафедрой _____ А.А. Николаев

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2024 - 2025 учебном году на заседании кафедры Автоматизированного электропривода и

Протокол от _____ 20__ г. № ____
Зав. кафедрой _____ А.А. Николаев

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2025 - 2026 учебном году на заседании кафедры Автоматизированного электропривода и

Протокол от _____ 20__ г. № ____
Зав. кафедрой _____ А.А. Николаев

1 Цели освоения дисциплины (модуля)

Целями освоения дисциплины «Основы научной и инновационной работы» является обучение будущих бакалавров навыкам поиска научно-технической информации при проведении научно-исследовательских работ.

Задачи дисциплины – усвоение студентами:

- методов поиска информации при планировании научно-исследовательской работы;
- навыков использования современных электронных библиотек и патентных ведомств России, США и ряда Европейских стран;
- навыков обработки полученной информации.

2 Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Дисциплина Основы научной и инновационной работы входит в вариативную часть учебного плана образовательной программы.

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

Учебная - ознакомительная практика

Производственная-технологическая практика

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

Производственная-преддипломная практика

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

В результате освоения дисциплины (модуля) «Основы научной и инновационной работы» обучающийся должен обладать следующими компетенциями:

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения
ПК-14 способностью планировать проведение испытаний отдельных модулей и подсистем мехатронных и робототехнических систем, участвовать в работах по организации и проведению экспериментов на действующих объектах и экспериментальных макетах, а также в обработке результатов экспериментальных исследований	
Знать	- основные методы поиска информации при планировании научно-исследовательской работы; - современные электронные библиотеки и патентные ведомства России, США и ряда Европейских стран (Elibrary, ieeexplore).
Уметь	- пользоваться основными методами поиска информации при планировании научно-исследовательской работы; - использовать электронные библиотеки и патентные ведомства России, США и ряда Европейских стран (Elibrary, ieeexplore).
Владеть	- пользоваться основными методами поиска информации при планировании научно-исследовательской работы; - использовать электронные библиотеки и патентные ведомства России, США и ряда Европейских стран (Elibrary, ieeexplore).
ПК-15 способностью проводить обоснованную оценку экономической эффективности внедрения проектируемых мехатронных и робототехнических систем, их отдельных модулей и подсистем	

Знать	- методы экономической оценки при внедрении проектируемой мехатронной системы
Уметь	- применять методы экономической оценки при внедрении проектируемой мехатронной и робототехнической системы.
Владеть	- методами оценки экономической эффективности при внедрении мехатронных и робототехнических систем.

4. Структура, объём и содержание дисциплины (модуля)

Общая трудоемкость дисциплины составляет 1 зачетных единиц 36 акад. часов, в том числе:

- контактная работа – 4,4 акад. часов;
- аудиторная – 4 акад. часов;
- внеаудиторная – 0,4 акад. часов
- самостоятельная работа – 27,7 акад. часов;

– подготовка к зачёту – 3,9 акад. часа

Форма аттестации - зачет

Раздел/ тема дисциплины	Курс	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								
1.1 Методы поиска информации при планировании научно-исследовательской работы	2	0,5		0,5	5	Проработка конспекта лекций и учебного пособия [1] по тематике	Устный опрос по поиску информации при планировании научно-исследовательской работы. (Приложение 2)	ПК-14з ПК-15ув
1.2 Современные электронные библиотеки и патентные ведомства России, США и ряда Европейских стран (Elibrary, ieeexplore)		0,5		0,5	10	Проработка конспекта лекций и учебного пособия [1] по тематике	Проверка домашнего задания №1 (Приложение 2).	ПК-14 ув ПК-15 зув
1.3 Способы обработки информации при проведении виртуальных экспериментов в программах Matlab Simulink, Multisim.		1		1	12,7	Проработка конспекта лекций и учебного пособия [2,3] по тематике	Проверка домашнего задания №2 (Приложение 2).	ПК-14 з ПК-15 зув
Итого по разделу		2		2	27,7			
Итого за семестр		2		2	27,7		зачёт	
Итого по дисциплине		2		2	27,7		зачет	ПК-14,ПК-15

5 Образовательные технологии

Для реализации предусмотренных видов учебной работы в качестве образовательных технологий в преподавании дисциплины «Основы научной и инновационной работы» используются традиционная и модульно - компетентностная технологии.

Передача необходимых теоретических знаний и формирование основных представлений по курсу «Основы научной и инновационной работы» происходит с использованием мультимедийного оборудования.

Лекции проходят в традиционной форме, в форме лекций-консультаций и проблемных лекций. Теоретический материал на проблемных лекциях является результатом усвоения полученной информации посредством постановки проблемного вопроса и поиска путей его решения. На лекциях – консультациях изложение нового материала сопровождается постановкой вопросов и дискуссией в поисках ответов на эти вопросы.

Самостоятельная работа стимулирует студентов приобретать навыки использования электронно-образовательного ресурса и патентных ведомств, при планировании своей научно-исследовательской работы.

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

а) Основная литература

1 Тимохин, А. Н. Моделирование систем управления с применением MatLab : учеб. пособие / А.Н. Тимохин, Ю.Д. Румянцев ; под ред. А.Н. Тимохина. — Москва : ИНФРА-М, 2017. — 256 с. + Доп. материалы [Электронный ресурс; Режим доступа: <https://new.znaniium.com>]. — (Высшее образование: Бакалавриат). — www.dx.doi.org/10.12737/14347. - ISBN 978-5-16-010185-9. - Текст : электронный. - URL: <https://znaniium.com/catalog/product/590240> (дата обращения: 24.10.2020). – Режим доступа: по подписке.

2. Онищенко, Г. Б. Теория электропривода : учебник / Г. Б. Онищенко. — Москва : ИНФРА-М, 2020. — 294 с. — (Высшее образование: Бакалавриат). - ISBN 978-5-16-009674-2. - Текст : электронный. - URL: <https://znaniium.com/catalog/product/1044495> (дата обращения: 06.11.2020). – Режим доступа: по подписке.

б) Дополнительная литература

1. Москаленко, В. В. Электрический привод: Учебник / Москаленко В.В. - Москва :НИИ ИНФРА-М, 2015. - 400 с. (Высшее образование: Бакалавриат) ISBN 978-5-16-009474-8. - Текст : электронный. - URL: <https://znaniium.com/catalog/product/443646> (дата обращения: 25.10.2020). – Режим доступа: по подписке.

2. Тимошкин, В.В. Проектирование и исследование асинхронных электроприводов : учеб. пособие / В.В. Тимошкин, И.А. Чернышев, А.Ю. Чернышев, Н.А. Воронина ; Томский политехнический университет. — Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2018. - 151 с. - Текст : электронный. - URL:

<https://znanium.com/catalog/product/1043856> (дата обращения: 06.11.2020). – Режим доступа: по подписке.

в) Методические указания:

1. Методические указания для студентов по подготовке в лабораторным работам/ составители: **Андреев, С.М., Рябчиков, М.Ю., Рябчикова, Е.С., Головкин, Н.А.**; Магнитогорский гос. технический ун-т им. Г. И. Носова. -

2. Методические рекомендации по выполнению и защите лабораторных работ представлены в приложении 3.

г) Программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

Программное обеспечение

Наименование ПО	№ договора	Срок действия лицензии
MS Office 2007 Professional	№ 135 от 17.09.2007	бессрочно
MathWorks MatLab v.2014 Classroom License	К-89-14 от 08.12.2014	бессрочно
MathCAD v.15 Education University Edition	Д-1662-13 от 22.11.2013	бессрочно
MS Office Visio Prof 2013(для классов)	Д-1227-18 от 08.10.2018	11.10.2021
MS Windows 7 Professional(для классов)	Д-1227-18 от 08.10.2018	11.10.2021
7Zip	свободно распространяемое ПО	бессрочно
FAR Manager	свободно распространяемое ПО	бессрочно

Профессиональные базы данных и информационные справочные системы

Название курса	Ссылка
Электронная база периодических изданий East View Information Services, ООО «ИВИС»	https://dlib.eastview.com/
Информационная система - Единое окно доступа к информационным ресурсам	URL: http://window.edu.ru/

Национальная информационно-аналитическая система – <u>Российский индекс научного цитирования</u>	URL: https://elibrary.ru/project_risc.asp
Поисковая система Академия Google (Google Scholar)	URL: https://scholar.google.ru/
Электронные ресурсы библиотеки МГТУ им. Г.И. Носова	http://magtu.ru:8085/marcweb2/Default.asp
Университетская информационная система РОССИЯ	https://uisrussia.msu.ru
Международная наукометрическая реферативная и полнотекстовая база данных <u>научных изданий «Web of science»</u>	http://webofscience.com
Международная реферативная и полнотекстовая справочная база данных научных изданий «Scopus»	http://scopus.com

9 Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Материально-техническое обеспечение дисциплины включает:

Тип и название аудитории	Оснащение аудитории
Лекционная аудитория 023, 227, 123	Мультимедийные средства хранения, передачи и представления информации
Лаборатория электрических аппаратов 025	Лабораторные стенды – 5 шт
Компьютерный класс 023, 227 а	Персональные компьютеры с пакетом MS Office и выходом в Интернет

Приложение 1. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

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

По дисциплине предусмотрена аудиторная и внеаудиторная самостоятельная работа обучающихся.

Самостоятельная работа студентов проявляется в непосредственной подготовке к зачету. В качестве оценочных средств на зачете используются устные ответы на зачете. При организации тестирования знаний студентов используются авторские тесты-задания.

Вопросы для самостоятельной работы:

1. Составление технического задания на проектирование
 2. Изучение параметрических рядов номинальных параметров
 3. Выбор электрооборудования в соответствии с требованиями по исполнению и условиям эксплуатации
 4. Обеспечение электромагнитной совместимости электрооборудования
 5. Технические средства систем автоматизированных электроприводов
 6. Расчет и выбор комплектных электроприводов и их компонентов
 7. Технические средства систем автоматизации
 8. Чертежи электроизделий
 9. Схемы структурные и функциональные
 10. Схемы электрические принципиальные
 11. Схемы соединений и подключений
 12. Схемы электрические – общая, расположения, объединенная
 13. Программная документация
 14. Компьютерные средства для решения задач исследования и оптимизации
- Синтез, исследование и оптимизация параметров систем регулирования и управления

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

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
ПК-14: способностью планировать проведение испытаний отдельных модулей и подсистем мехатронных и робототехнических систем, участвовать в работах по организации и проведению экспериментов на действующих объектах и экспериментальных макетах, а также в обработке результатов экспериментальных исследований		
Знать	- основные методы экспериментального компьютерного моделирования мехатронных и робототехнических систем, а так же отдельных подсистем; - принципы и порядок испытания реальных модулей и подсистем мехатронных и робототехнических систем.	Контрольные вопросы 1. Поясните методику составления и преобразования структурных систем. 2. Для чего нужен задатчик интенсивности (ЗИ) и из каких типовых звеньев он состоит? 3. Рассчитайте параметры ЗИ для ускорения (спадания) выходного сигнала с граничным темпом 10 В/с. 4. Как реализовать программно устройство для форсировки цепи возбуждения (УФВ). 5. Каким типовым звеном можно представить электрическую цепь обмотки возбуждения двигателя постоянного тока? Как рассчитать параметры звена? 6. Нарисуйте структурную схему цепи возбуждения электрической машины постоянного тока с учетом насыщения. 7. Как реализовать кривую намагничивания двигателя постоянного тока в среде MatLab Simulink? 8. Структурная схема двигателя постоянного тока независимого возбуждения (ДПТ с НВ) при $k_{\Phi n} = \text{const}$. Расчет параметров структурной схемы ДПТ с НВ, реализация в среде MatLab Simulink. 9. Как реализовать активную и реактивную статические нагрузки для ДПТ с НВ в среде структурного моделирования MatLab Simulink? 10. Структурная схема ДПТ с НВ при двухзонном регулировании скорости. Расчет параметров структурной схемы, реализация в среде MatLab Simulink. 11. Как вывести временные диаграммы требуемых координат электропривода на экран монитора в среде MatLab Simulink? 12. Каким образом в среде MatLab Simulink выбирается шаг и метод счета?
Уметь	- пользоваться основными методами экспериментального компьютерного моделирования мехатронных и робототехнических систем,	Перечень вопросов к домашнему заданию №1 1. Как настроить внутренний контур тока ДПТ на модульный оптимум? 2. Как настроить внутренний контур скорости ДПТ на симметричный оптимум? 3. Как настроить внешний контур положения ДПТ?

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
	а так же отдельных подсистем; - пошагово испытывать реальные модулей и подсистемы мехатронных и робототехнических систем.	
Владеть	- основными методами экспериментального компьютерного моделирования мехатронных и робототехнических систем, а так же отдельных подсистем; - навыками испытания реальных модулей и подсистем мехатронных и робототехнических систем.	Домашнее задание №1 Произвести поконтурную отладку и испытания трёхконтурной САР положения мехатронной системы 1. Отладка и испытания внутреннего контура тока ДПТ 2. Отладка и испытания внутреннего контура скорости ДПТ 3. Отладка и испытания внешнего контура положения ДПТ 4. Схема и порядок работы приведены в (приложении 3)
ПК-15: способностью проводить обоснованную оценку экономической эффективности внедрения проектируемых мехатронных и робототехнических систем, их отдельных модулей и подсистем		
Знать	- методы экономической оценки при внедрении проектируемой мехатронной системы	Контрольные вопросы 1. Экономическая оценка механической части мехатронной системы 2. Экономическая оценка электронных компонентов мехатронной системы. 3. Экономическая оценка проектирования и изготовление печатных плат для мехатронной системы 4. Оценка качества изделия 5. Расчет себестоимости изделия.
Уметь	- применять методы экономической оценки при внедрении проектируемой мехатронной и робототехнической системы.	Перечень вопросов к практическому заданию 1. Рассчитать примерную себестоимость выбранной проектируемой мехатронной системы 2. Произвести экономическую оценку целесообразности проекта при внедрении мехатронной системы на производство
Владеть	- методами оценки экономической эффективности при внедрении мехатронных и робототехнических систем.	Практическое задание 1. Рассчитать примерную себестоимость выбранной проектируемой мехатронной системы 1.1. Стоимость механической части. 1.2. Стоимость электронных компонентов. 1.3. Стоимость разработки и оформление конструкторской документации проекта. 1.4. Стоимость и монтаж печатной платы мехатронной системы 2. Произвести экономическую оценку целесообразности

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		проекта при внедрении мехатронной системы на производство. Срок окупаемости.

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

Изучение учебной дисциплины «Основы научной и инновационной работы» завершается зачетом.

Зачет является формой итогового контроля знаний и умений, полученных на лекциях, семинарских, практических занятиях и процессе самостоятельной работы.

Зачет дает возможность преподавателю:

- выяснить уровень освоения обучающимися программы учебной дисциплины;
- оценить формирование определенных знаний и навыков их использования, необходимых и достаточных для будущей самостоятельной работы;
- оценить умение обучающихся творчески мыслить и логически правильно излагать ответы на поставленные вопросы.

Зачет проводится в форме собеседования, в процессе которого обучающийся отвечает на вопросы преподавателя.

Литература для подготовки к зачету рекомендуется преподавателем. Для полноты учебной информации и ее сравнения лучше использовать не менее двух учебников. Обучающийся вправе сам придерживаться любой из представленных в учебниках точек зрения по спорной проблеме (в том числе отличной от преподавателя), но при условии достаточной научной аргументации.

Основным источником подготовки к зачету является конспект лекций, где учебный материал дается в систематизированном виде, основные положения его детализируются, подкрепляются современными фактами и информацией, которые в силу новизны не вошли в опубликованные печатные источники. В ходе подготовки к зачету обучающимся необходимо обращать внимание не только на уровень запоминания, но и на степень понимания излагаемых проблем.

Зачет проводится по вопросам, охватывающим весь пройденный материал. По окончании ответа преподаватель может задать обучающемуся дополнительные и уточняющие вопросы. Положительным также будет стремление студента изложить различные точки зрения на рассматриваемую проблему, выразить свое отношение к ней, применить теоретические знания по современным проблемам экологии. Результаты зачета объявляются студенту непосредственно после окончания его ответа в день сдачи.

Критерии оценки: для получения оценки за зачет:

- на оценку «зачтено» – обучающийся должен показать высокий уровень знаний не только на уровне воспроизведения и объяснения информации, но и интеллектуальные навыки решения проблем и задач, нахождения уникальных ответов к проблемам, оценки и вынесения критических суждений; показать знания не только на уровне воспроизведения и объяснения информации, но и интеллектуальные навыки решения проблем и задач, нахождения уникальных ответов к проблемам; показать знания на уровне воспроизведения и объяснения информации, интеллектуальные навыки решения простых задач;

– на оценку «не зачтено» – обучающийся не может показать знания на уровне воспроизведения и объяснения информации, не может показать интеллектуальные навыки решения простых задач.

Приложение 3. Методические указания по расчету и испытаниям САРП мехатронной системы

Данные двигателя и тиристорного преобразователя

Параметр	Обозначение	Ном. значение
Напряжение номинальное, В	U_n , В	220
Поток номинальный, В*с	$\kappa\Phi_n$	1,2
Эквивалентное сопротивление якорной цепи, Ом	R_Δ	1,1
Электромеханическая постоянная времени двигателя, с	T_m	0,02
Электромагнитная постоянная времени якорной цепи, с	T_Δ	0,03
Номинальный ток якоря, А	I_n	20
Номинальная окружная скорость двигателя, с^{-1}	ω_n	165
Мощность двигателя, кВт	P	4,4
Коэффициент тиристорного преобразователя	$K_{ТП}$	22
Постоянная времени тиристорного преобразователя, с	T_μ	0,005

Контур регулирования якорного тока по законам СТРК с отрицательной обратной связью по регулируемой координате представлен на (рис. 1.1). Управляющим сигналом является напряжение задания тока, выходным – ток двигателя. Контур тока включает в себя: регулятор тока $W_{PT}(p)$, аperiodические звенья, описывающее тиристорный преобразователь и якорную цепь, [1].

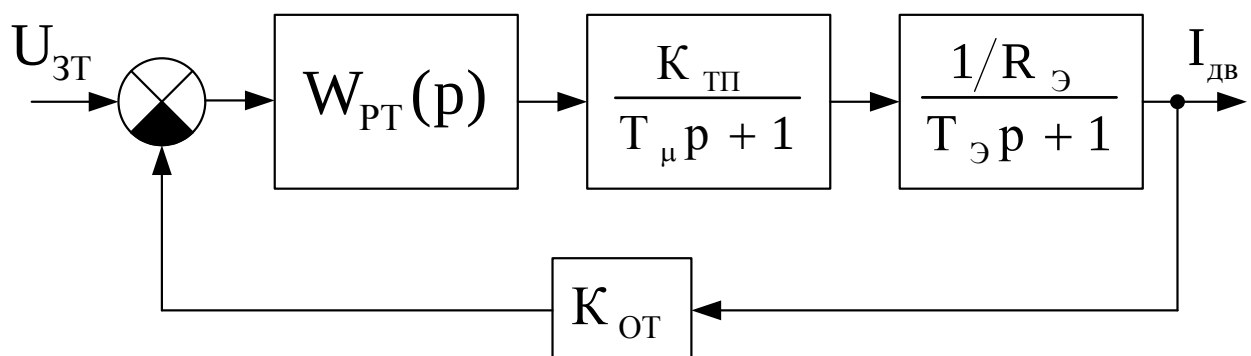


Рис. 1.1. Замкнутый токовый контур

Коэффициент обратной связи по току рассчитывается по формуле

$$K_{OT} = \frac{10}{\lambda_T \cdot I_H} = \frac{10}{2,5 \cdot 20} = 0,2,$$

где $\lambda_T = 2,5$ - перегрузочная способность двигателя по току;

10 В – максимальное напряжение задание на ток.

Коэффициент регулятора тока

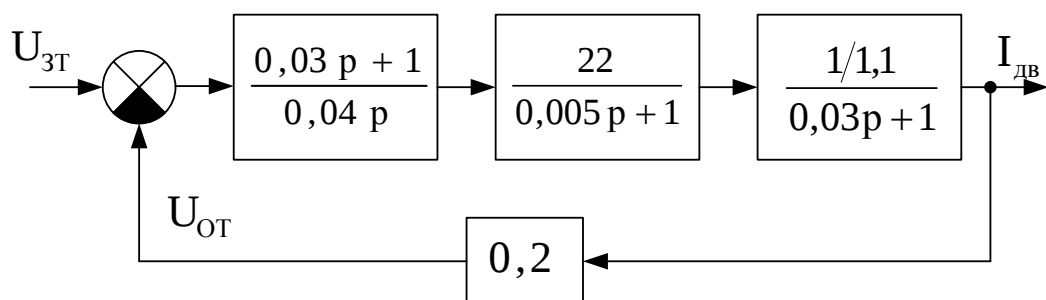
$$K_{PT} = \frac{T_{\Theta} \cdot R_{\Theta}}{2 \cdot T_{\mu} \cdot K_{TH} \cdot K_{OT}} = \frac{0,03 \cdot 1,1}{2 \cdot 0,005 \cdot 22 \cdot 0,2} = 0,75.$$

Контур регулирования якорного тока, настроенный по техническому (модульному) оптимуму должен иметь регулятор с ПИ-структурой.

Передаточная функция регулятора тока

$$W_{PT}(p) = \frac{1 + T_{\Theta}p}{T_{\Theta}p} \cdot K_{PT} = \frac{T_{\Theta}p + 1}{\frac{T_{\Theta}}{K_{PT}} \cdot p} = \frac{0,03 \cdot p + 1}{0,04 \cdot p}.$$

После расчета коэффициентов можно программировать схему в Matlab Simulink (рис. 1.2).



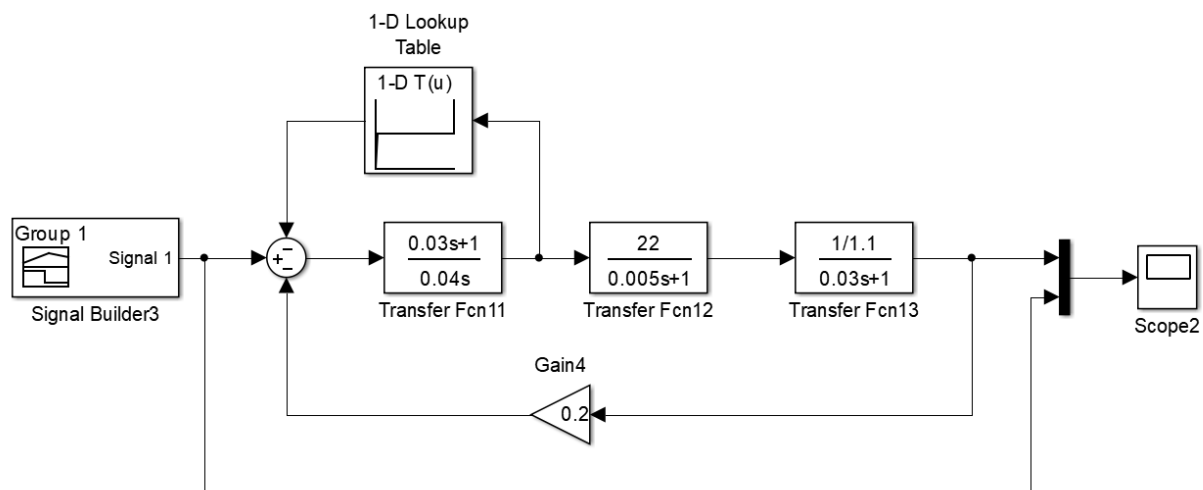


Рис. 1.2. Замкнутый токовый контур

Регулятор тока имеет интегральную составляющую, поэтому его выход необходимо ограничить блоком ограничения (БО) с воздействием на вход. Функциональная зависимость БО приведена на (рис. 1.3).

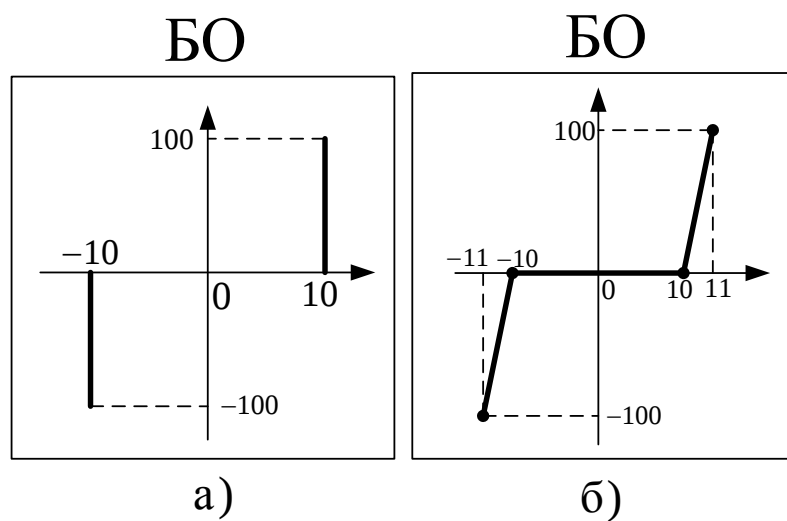


Рис. 1.3. Функциональная зависимость БО

а) – идеальная релейная характеристика; б) – реальная релейная характеристика.

Переходные процессы тока и задания на ток U_{zt} замкнутого токового контура (ЗКТ) приведены на (рис. 1.4).

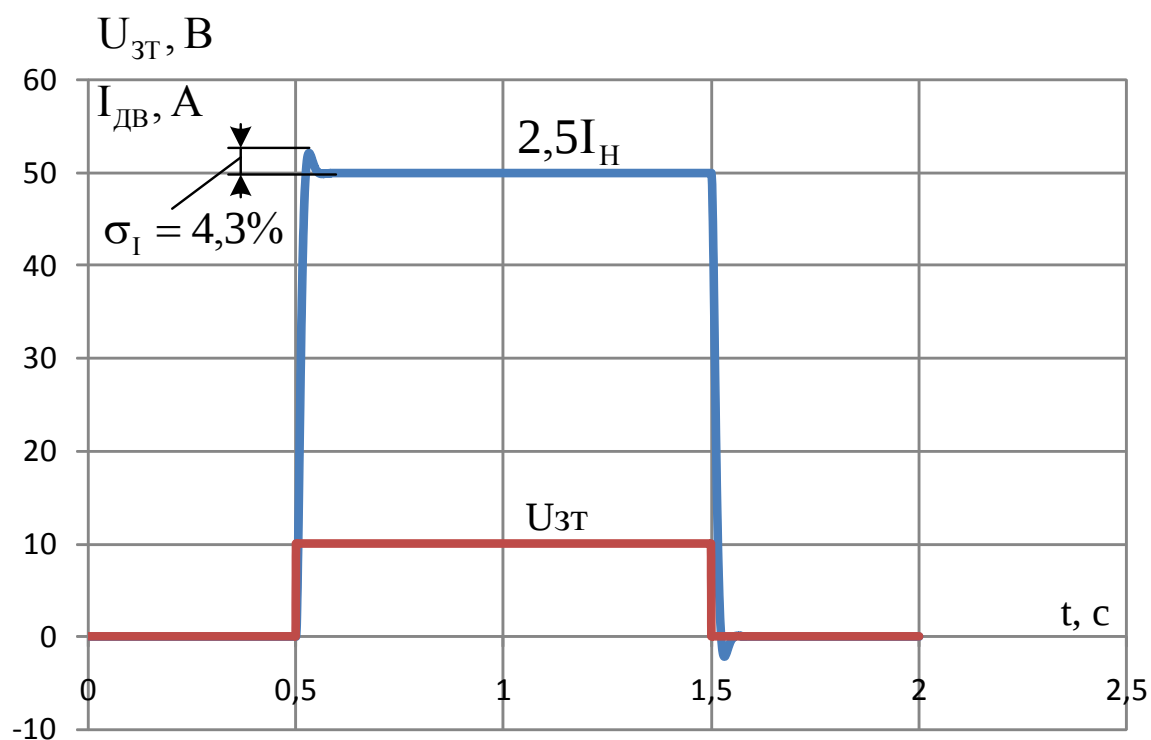


Рис. 1.4. Переходные процессы тока и задания на ток $U_{ЗТ}$ ЗКТ

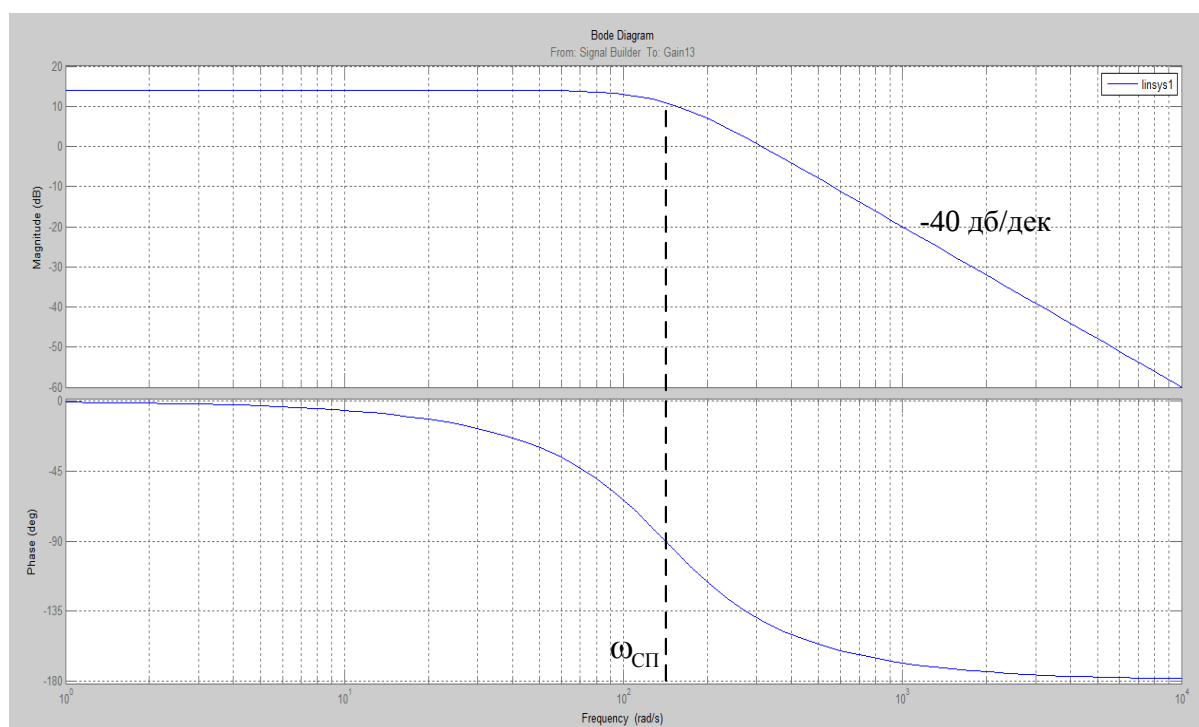


Рис. 1.5. ЛАЧХ и ЛФЧХ замкнутого токового контура

Отсечка по току осуществлена на уровне $2.5I_H$ за счет БО. Настройка контура по модульному или техническому оптимуму даёт перерегулирование в регулируемой координате $\sigma_I = 4.3\%$.

Переходный процесс колебательный и затухает за один период. Ошибка регулирования в статическом режиме равна нулю.

Анализируя логарифмические амплитудные и фазочастотные характеристики ЗКТ (рис. 1.5), можно сделать вывод о том, что ЗКТ можно представить устойчивым колебательным звеном.

1.2. Расчет и отладка замкнутого контура регулирования скорости ДПТ

После настройки внутреннего контура регулирования тока якоря выполняется настройка внешнего контура регулирования скорости электродвигателя, (рис. 1.6). Для регулирования скорости вращения электродвигателя, необходимо сформировать на его валу электромагнитный момент. Эту задачу выполняет регулятор скорости (РС). Выходное напряжение РС поступает на вход подчиненного ему регулятора тока, формируя необходимую величину тока.

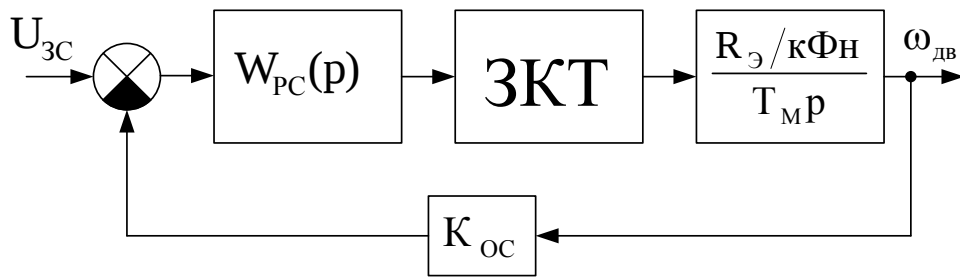


Рис. 1.6. Структурная схема контура регулирования скорости вращения электродвигателя

Расчет параметров контура регулирования скорости для исследуемого электродвигателя производится по следующим формулам.

Коэффициент обратной связи по скорости

$$K_{ос} = \frac{10}{\omega_H} = \frac{10}{165} = 0,0606,$$

где ω_H - номинальная окружная скорость электродвигателя;

10 В – максимальное напряжение задания на скорость.

Передаточная функция регулятора скорости

$$W_{PC}(p) = K_{PC} = \frac{T_M \cdot кФН \cdot K_{от}}{4T_\mu \cdot R_\varepsilon \cdot K_{ос}} = \frac{0,02 \cdot 1,2 \cdot 0,2}{4 \cdot 0,005 \cdot 11 \cdot 0,0606} = 3,6.$$

Как видно из последнего выражения, регулятор скорости имеет структуру пропорционального звена. Контур скорости с таким регулятором является статическим по возмущающему воздействию, (рис. 1.7). Это значит, что при приложении статического момента к валу двигателя будет иметь место статическая просадка по скорости.

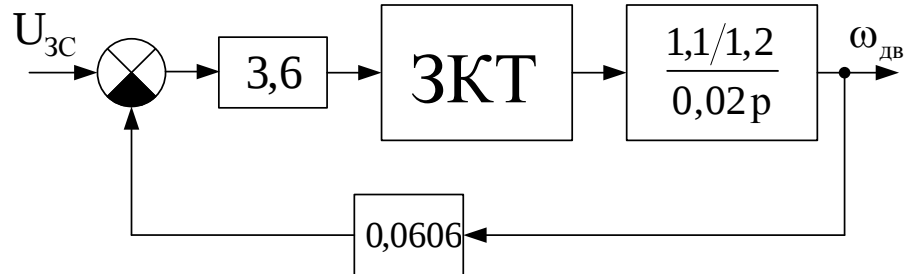


Рис. 1.7. Замкнутый контур скорости электродвигателя

Модель структурной схемы замкнутого контура скорости в программе Матлаб приведена на (рис. 1.8). Ограничение выходного напряжения регулятора скорости, имеющего П – структуру, допустимо блоком Saturation. Данный блок ограничивает амплитуду напряжения ± 10 В.

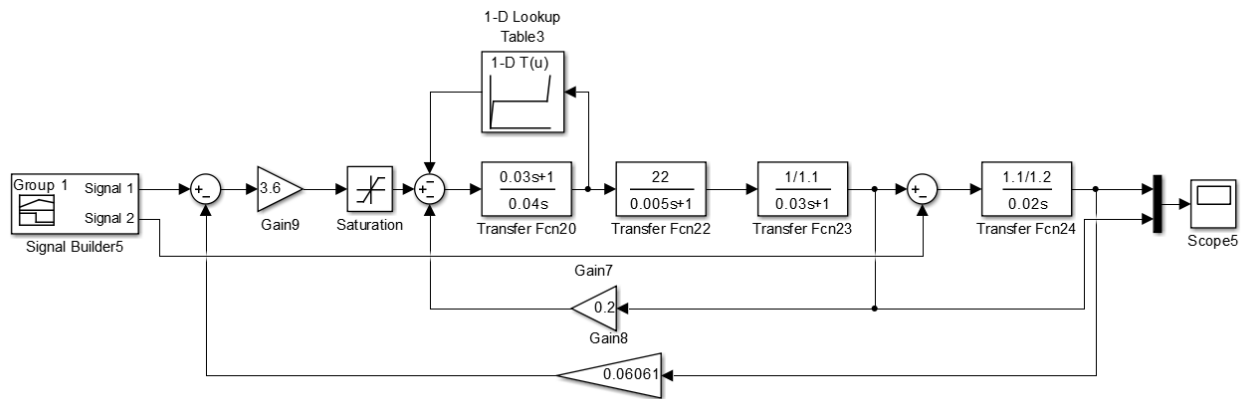


Рис. 1.8. Модель структурной схемы замкнутого контура скорости в программе Матлаб

Переходные процессы тока и скорости электродвигателя в статической САП скорости (рис. 1.9) отражают пуск двигателя под отсечку на холостом ходу с пусковым током $2,5I_n$. На участке времени 1,5-2,5с происходит скачкообразное приложение номинальной статической нагрузки к валу двигателя. Скорость двигателя просаживается на величину $\Delta\omega_{CH}$, т.к. регулятор скорости имеет П – структуру. С пропорциональным регулятором статическая просадка по скорости неизбежна, но она будет по величине всегда меньше, чем в разомкнутой системе. Остановка двигателя проходит в режиме рекуперативного торможения без статической нагрузки на валу.

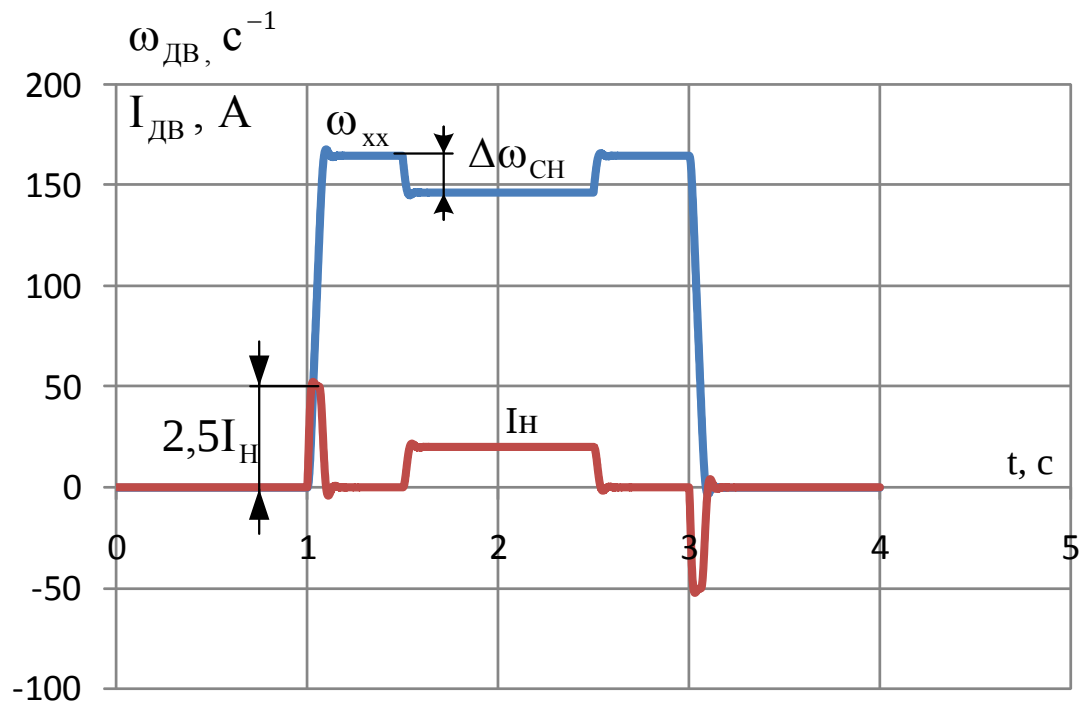


Рис. 1.9. Переходные процессы тока и скорости электродвигателя
в статической САР скорости

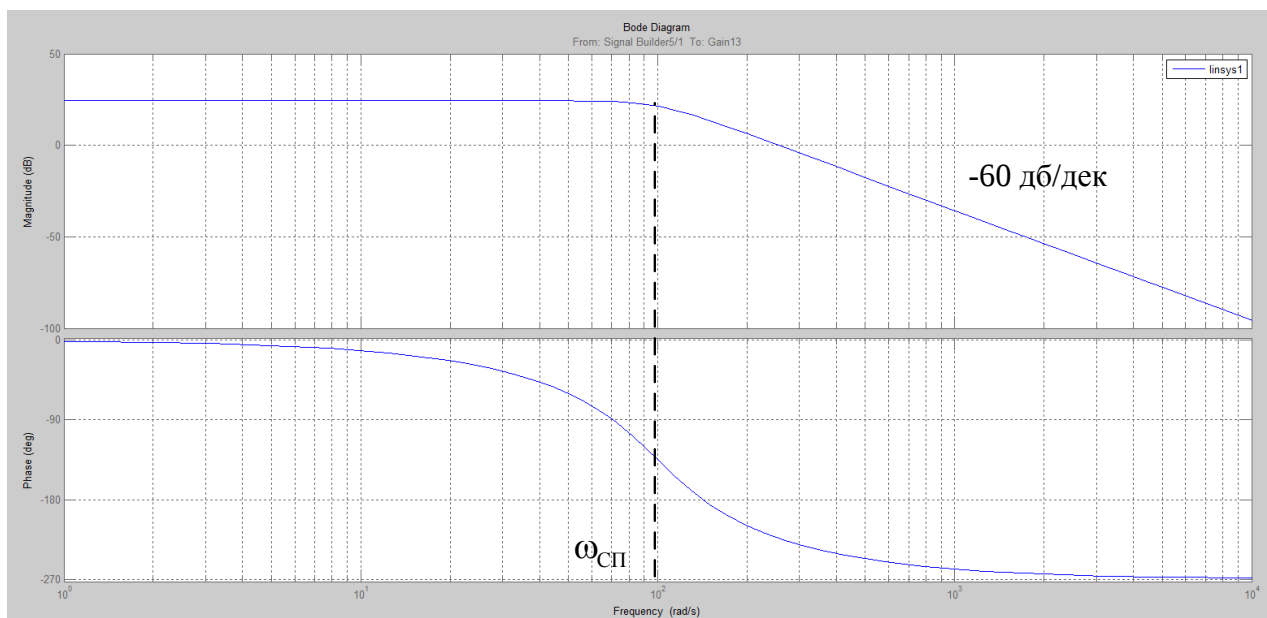


Рис. 1.10. ЛАЧХ и ЛФЧХ статической замкнутой САР скорости
по управляющему воздействию

Анализ ЛАЧХ и ЛФЧХ (рис. 1.10) показывает, что замкнутую САР скорости по управляющему воздействию можно представить апериодическим звеном третьего порядка (наклон ЛАЧХ -60 дБ/дек) с постоянной времени фильтра $T_f = 0,01\text{с}$. Из этого можно сделать вывод о полосе пропускания рассчитанной системы $\omega_{\Pi} = 0 \dots 100 \text{ с}^{-1}$.

Статические САР скорости подходят не всем механизмам, работающим на практике, т.к. существуют механизмы, к которым предъявляются требования, исключающие статическую ошибку регулирования скорости. Электроприводы, работающие на таких механизмах, как, например: моталки, разматыватели, высокоточные краны, приводы подачи высокоточных станков и др., должны работать с нулевыми ошибками скорости. Такие САР скорости называются астатическими и реализуются добавлением интегральной составляющей в структуру регулятора скорости (ПИ – регулятор скорости).

ПИ – регулятор скорости рассчитывается следующим образом, [1].

$$W_{PC}(p) = \frac{8T_{\mu} \cdot p + 1}{8T_{\mu}p} \cdot K_{PC} = \frac{8 \cdot 0,005 \cdot p + 1}{8 \cdot 0,005 \cdot p} \cdot 3,6 = \frac{0,04p + 1}{0,0111p}.$$

Таким образом, двукратно интегрирующая САР скорости будет выглядеть, как представлено на (рис. 1.11).

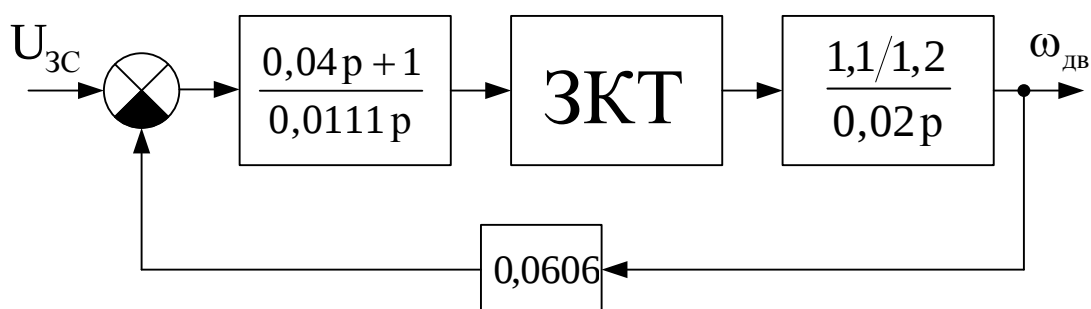


Рис. 1.11. Двукратно интегрирующая астатическая САР скорости

Выход ПИ регулятора скорости должен быть ограничен БО на уровне $\pm 10\text{В}$ с воздействием на вход регулятора, (рис. 1.12).

Двойное интегрирование прямого канала регулирования вызывает перерегулирование скорости $\sigma_{\omega} = 20\%$ (по управляющему воздействию) и $\sigma_I = 43\%$ по току якоря двигателя (по возмущающему воздействию). Положительным моментом данной системы – отсутствие статической просадки по скорости $\Delta\omega_{CH} = 0$, вне зависимости от величины прикладываемой нагрузки, (рис. 1.13).

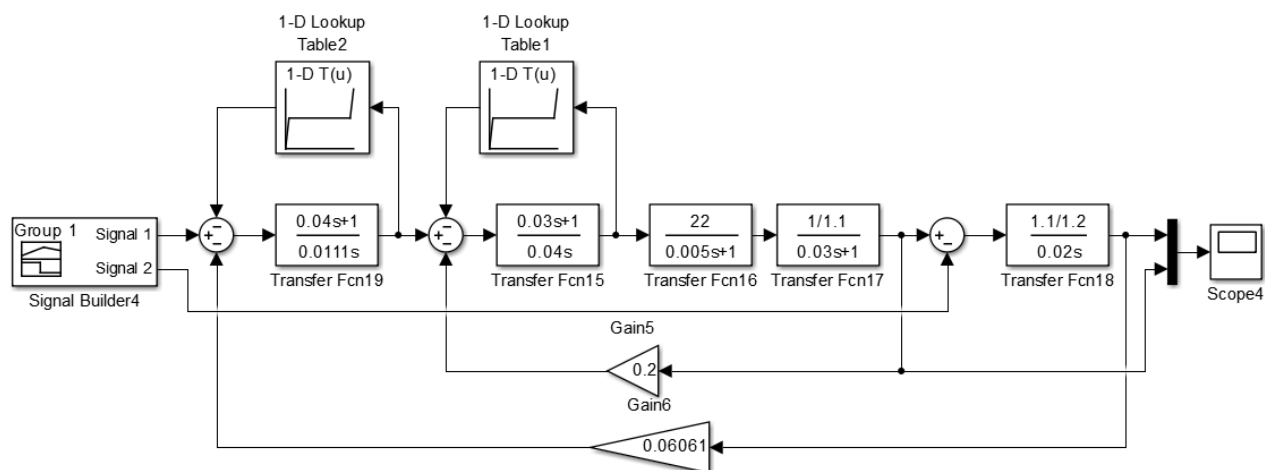


Рис. 1.12. Модель астатической САР скорости в Матлаб

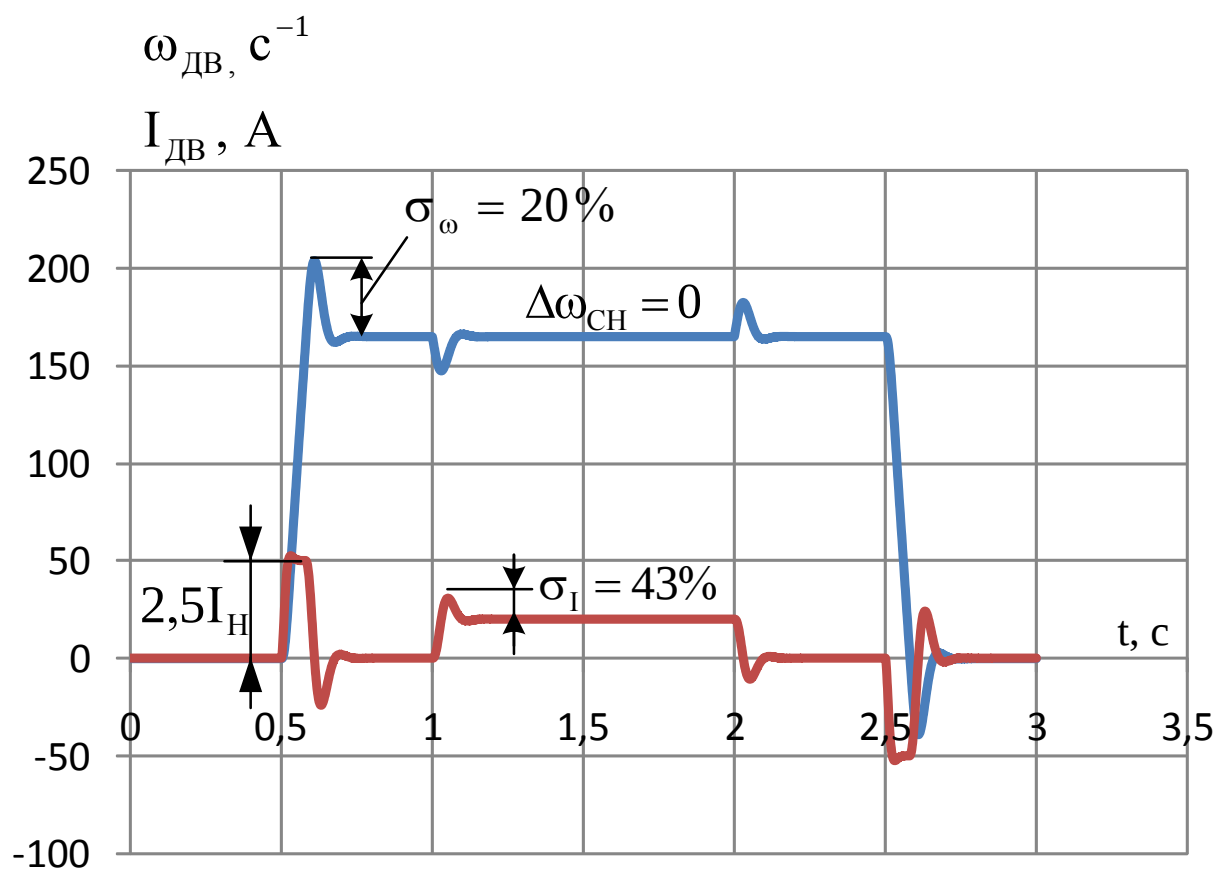


Рис. 1.13. Переходные процессы тока и скорости электродвигателя
астатической САР скорости

Уменьшение перегулирования основной регулируемой координаты – скорости двигателя можно достигнуть фильтрацией задающего сигнала инерционным звеном с передаточной функцией

$$W_{\Phi}(p) = \frac{1}{8T_{\mu}p + 1} = \frac{1}{8 \cdot 0,005 \cdot p + 1} = \frac{1}{0,04p + 1}.$$

На (рис. 1.14) показана структурная схема астатической САР скорости с фильтром и переходные процессы тока и скорости электродвигателя.

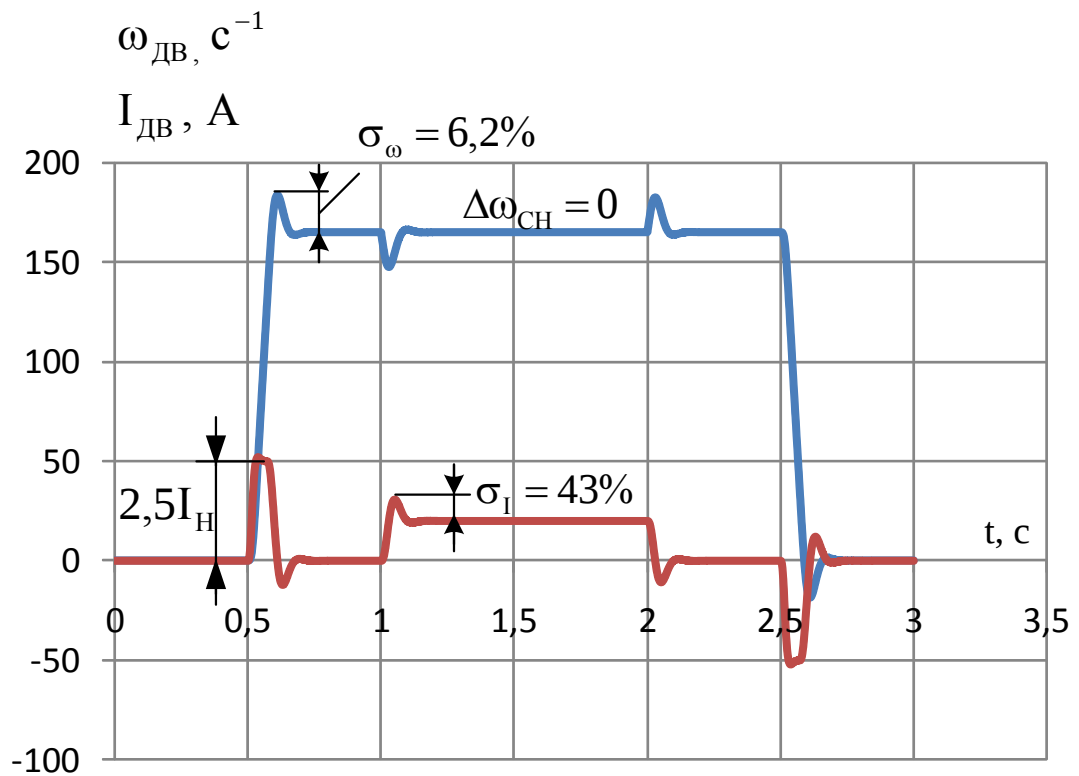
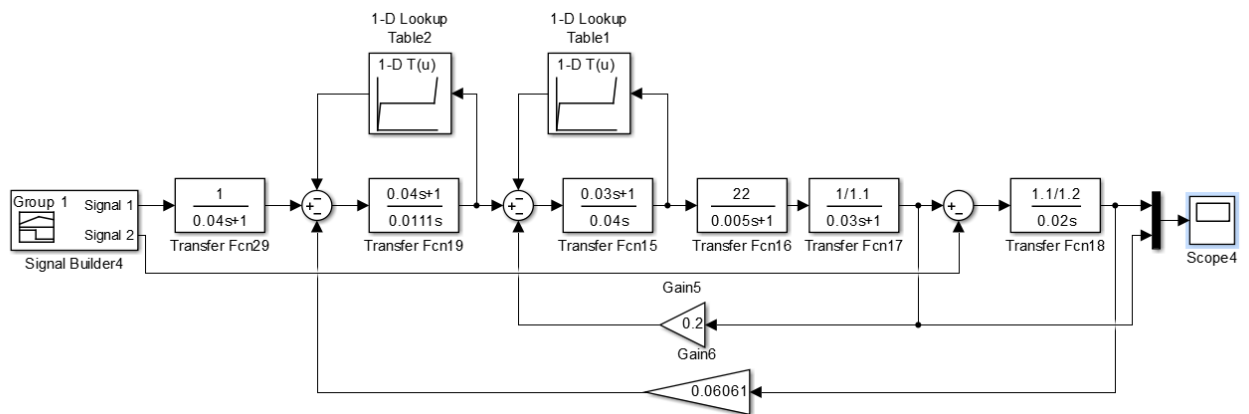


Рис. 1.14. Структурная схема астатической САР скорости с фильтром
и переходные процессы тока и скорости электродвигателя

По переходному процессу скорости видно, что фильтрация прямого канала (по управляющему воздействию) значительно уменьшает перерегулирование до $\sigma_{\omega} = 6,2\%$. Плата за это – увеличение времени разгона двигателя на величину постоянной времени фильтра 0,04 с.

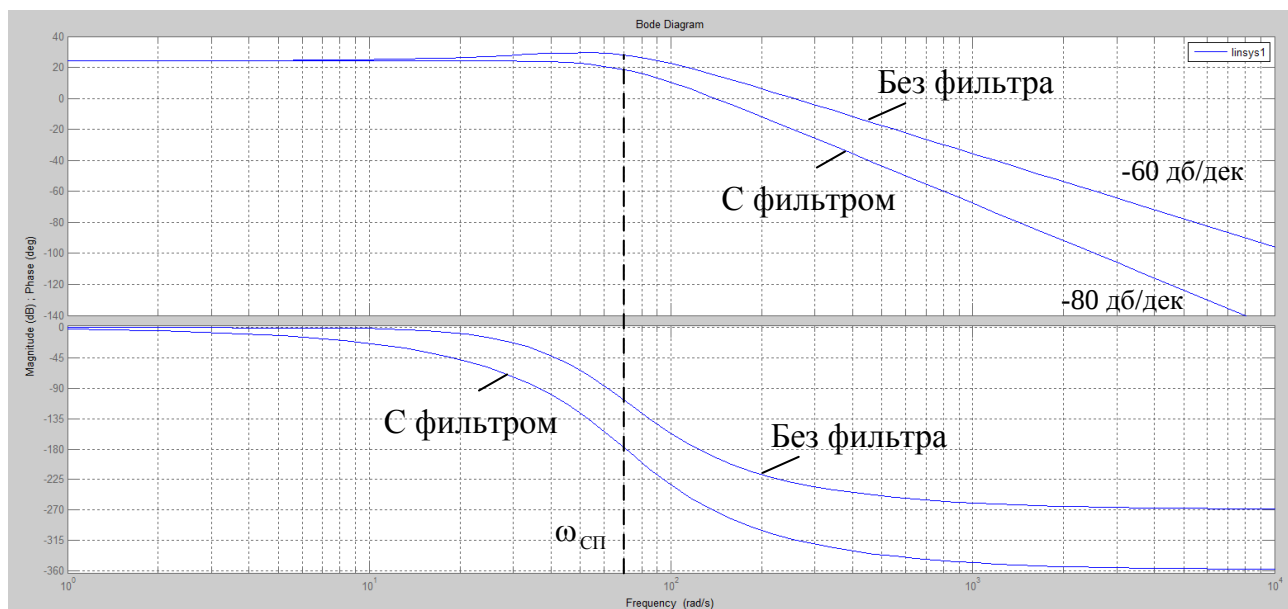


Рис. 1.15. ЛАЧХ и ЛФЧХ астатической замкнутой САР скорости
по управляющему воздействию

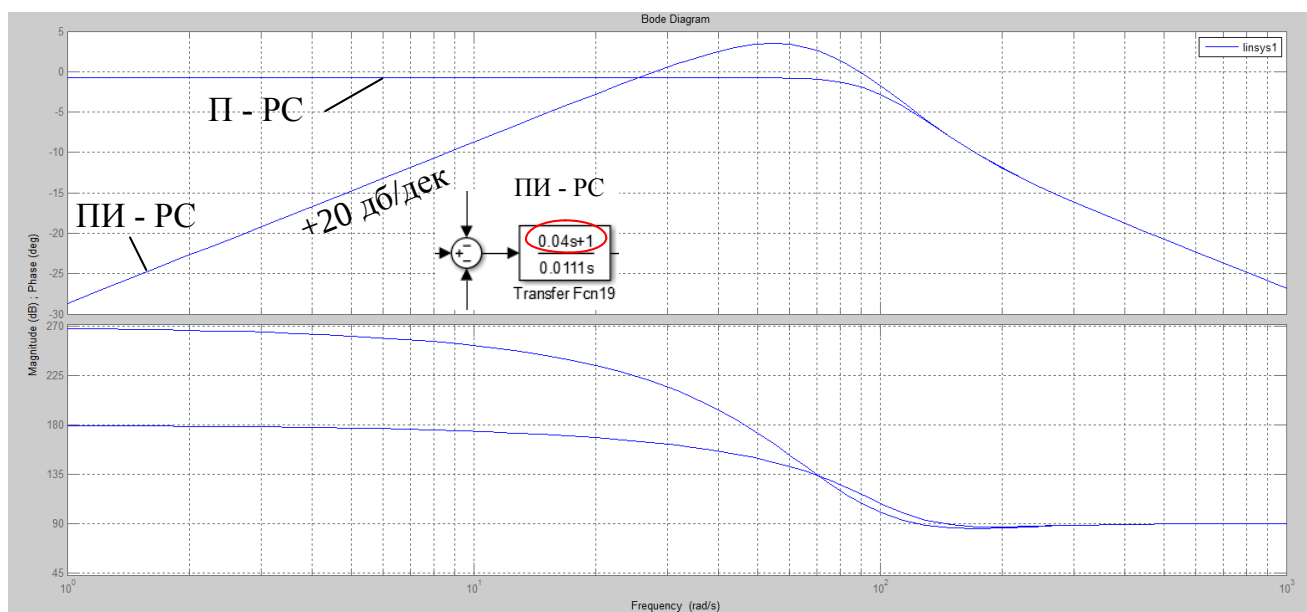


Рис. 1.16. ЛАЧХ и ЛФЧХ статической и астатической замкнутой САР

скорости по возмущающему воздействию

По ЛАЧХ и ЛФЧХ по управляющему воздействию с фильтром и без фильтра можно оценить динамику электропривода, (рис. 1.15). При приближении к частоте сопряжения $\omega_{СП}$ наблюдается резонансное увеличение амплитуды скорости. Это хорошо видно и в переходных процессах без фильтрации прямого канала, где перерегулирование скорости достигает 20%. ЛФЧХ отражает отставание по фазе сигнала скорости от сигнала задания с увеличением частоты – фильтр вносит отставание скорости по времени от заданного на величину постоянной времени фильтра 0,04 с.

Совмещенные ЛАЧХ и ЛФЧХ статической и астатической замкнутой САР скорости по возмущающему воздействию наглядно показывают реакцию регулируемой координаты скорости при изменении частоты статической нагрузки, (рис. 1.16). В случае с П – РС амплитуда скорости неизменна до частоты сопряжения. Это говорит о том, что величина статического тока пропорциональна величине скорости (статической просадке по скорости). ПИ – РС, в свою очередь, за счет форсирующего (дифференцирующего) звена $(0,04s+1)$ увеличивает амплитуду скорости в зависимости от интенсивности прикладываемой нагрузки.

1.3. Расчет и отладка контура регулирования положения (перемещения) ДПТ

Позиционные электроприводы выполняют различные функции в зависимости от особенностей технологии работы механизмов и могут быть разделены на следующие группы:

- электроприводы, предназначенные для отработки заданного положения механизма;
- электроприводы, предназначенные для отработки заданного перемещения механизма;
- двухдвигательные электроприводы с взаимной синхронизацией электродвигателей по положению;
- следящие электроприводы с синхронизацией по положению с ведущим механизмом.

Электроприводам первой группы строго заданы начальное и конечное положения рабочего органа механизма и переход из одного положения в другое происходит по одному и тому же пути (например, механизм перемещения роботизированной тележки по рельсам).

В качестве датчика обратной связи по положению используется сельсин-датчик, работающий в амплитудном режиме, либо энкодер в качестве датчика угла поворота.

Стандартная позиционная система автоматического регулирования по положению (САПП), как правило, является трёхконтурной. Внешний контур положения корректирует внутренний САР скорости, а тот, в свою очередь САР тока, (рис. 1.17). Замкнутый контур скорости (ЗКС) включает в себя внутренний контур скорости. Задатчик интенсивности ЗИ нужен для ограничения темпа разгона и торможения электродвигателя.

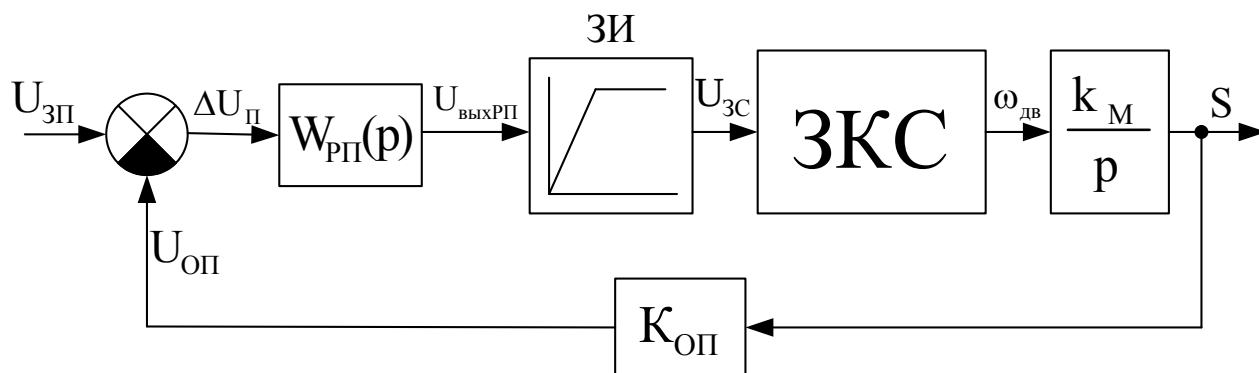


Рис. 1.17. Структура позиционной САР

Регулятор положения в позиционных системах является нелинейным, (рис. 1.18). Его коэффициент передачи (усиления) меняется в зависимости от величины перемещения привода (малые, средние и большие).

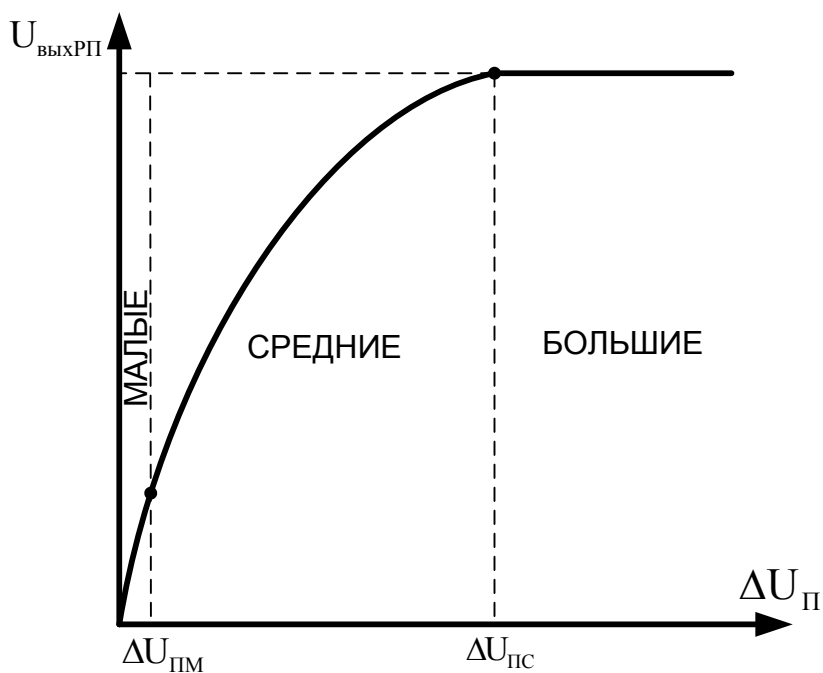


Рис. 1.18. Нелинейная зависимость РП

Далее, будет произведен расчет третьего контура регулирования САРП для исследуемого электродвигателя.

Пусть максимальное время разгона и торможения двигателя до номинальной скорости будет 2 секунды. Ускорение привода рассчитывается по формуле

$$E_{\text{доп}} = \frac{d\omega}{dt} = \frac{165}{2} = 82,5 \text{ (с}^{-1}\text{)}$$

Коэффициент обратной связи по положению рассчитывается исходя из максимальной величины перемещения. Допустим рабочий орган (тележка) должна переместиться на максимальное расстояние $S=10$ м.

$$K_{\text{ОП}} = \frac{10}{S} = \frac{10}{10} = 1,$$

где $S=10$ м – расстояние перемещения объекта регулирования;

10 В – максимальное напряжение задания перемещения в САРП.

Коэффициент, связывающий линейную скорость перемещения механизма и угловую скорость вращения электродвигателя

$$K_M = \frac{V_{\text{max}}}{\omega_{\text{max}}} = \frac{2}{165} = 0,01212,$$

где $V_{\text{max}} = 2$ м/с - линейная скорость перемещения тележки.

Коэффициент передачи регулятора положения (РП) при малых перемещениях для САР с П –регулятором скорости

$$K_{\text{РПМ}} = \frac{K_{\text{ОС}}}{(12 \div 16)T_{\mu} \cdot K_{\text{ОП}} \cdot K_M} = \frac{0,0606}{(12 \div 16) \cdot 0,005 \cdot 1 \cdot 0,01212} = (83 \div 62) \approx 73.$$

Коэффициент передачи РП при больших перемещениях

$$K_{\text{РПБ}} = \frac{2 \cdot K_{\text{ОС}} \cdot E_{\text{доп}}}{K_{\text{ОП}} \cdot K_M \cdot \omega_H} = \frac{2 \cdot 0,0606 \cdot 82,5}{1 \cdot 0,01212 \cdot 165} = 5.$$

Коэффициент передачи РП при средних перемещениях будет иметь нелинейную гиперболическую зависимость

$$K_{\text{РПС}} = K_{\text{ОС}} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot E_{\text{доп}}}{K_{\text{ОП}} \cdot K_M \cdot \Delta U_M}} = 0,0606 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 82,5}{1 \cdot 0,01212 \cdot \Delta U_M}} = 7,07 \cdot \frac{1}{\sqrt{\Delta U_M}}$$

Зона малых перемещений определяется расчетом входного напряжения РП $\Delta U_{3М}$

$$\Delta U_{3М} = \frac{2 \cdot K_{\text{ОС}}^2 \cdot E_{\text{доп}}}{K_{\text{РПМ}}^2 \cdot K_{\text{ОП}} \cdot K_M} = \frac{2 \cdot 0,0606^2 \cdot 82,5}{73^2 \cdot 1 \cdot 0,01212} = 0,0094 \text{ (В)}.$$

Зона больших перемещений определяется расчетом входного напряжения РП $\Delta U_{3Б}$

$$\Delta U_{3Б} = \frac{2 \cdot K_{\text{ОС}}^2 \cdot E_{\text{доп}}}{K_{\text{РПБ}}^2 \cdot K_{\text{ОП}} \cdot K_M} = \frac{2 \cdot 0,0606^2 \cdot 82,5}{5^2 \cdot 1 \cdot 0,01212} = 2 \text{ (В)}.$$

Коэффициент редуктора, обеспечивающий линейную скорость тележки в 2 (м/с) при окружной скорости двигателя 165 (с⁻¹)

$$i_p = \frac{\omega_{\max}^2 \cdot K_{\text{ОП}}}{(0,5 \div 0,8) E_{\text{доп}} \cdot U_{3\text{П}\max}} = \frac{165^2 \cdot 1}{(0,65) \cdot 82,5 \cdot 10} = 50,8.$$

Рассчитывается нелинейная зависимость $U_{\text{ВЫХ РП}} = f(\Delta U_{\text{П}})$ РП в зоне малых и средних перемещений, расчетные данные приведены в (табл. 1.2)

$$U_{\text{ВЫХ РП}} = K_{\text{ОС}} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot E_{\text{доп}} \cdot \Delta U_{\text{П}}}{K_{\text{М}} \cdot K_{\text{ОП}}}} = 0,0606 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 82,5 \cdot \Delta U_{\text{П}}}{0,01212 \cdot 1}} = 7,07 \cdot \sqrt{\Delta U_{\text{П}}}.$$

Таблица 1.2

Нелинейная зависимость $U_{\text{ВЫХ РП}} = f(\Delta U_{\text{П}})$ РП в зоне малых и средних перемещений

$\Delta U_{\text{П}}, \text{В}$	0	0,0 094	0, 1	0 , 2	0 , 4	0, 6	0 , 8	1	1, 2	1 , 4	1 , 6	1 , 8	2	1 2
$U_{\text{ВЫХ РП}}, \text{В}$	0	0,6 8	2, 2 4	3 , 2	4 , 5	5, 4 7	6 , 3	7, 0 7	7, 7 4	8 , 4	8 , 9	9 , 5	1 0	1 0

По расчетным данным (табл. 1.1) строится зависимость $U_{\text{ВЫХ РП}} = f(\Delta U_{\text{П}})$, (рис. 1.19)

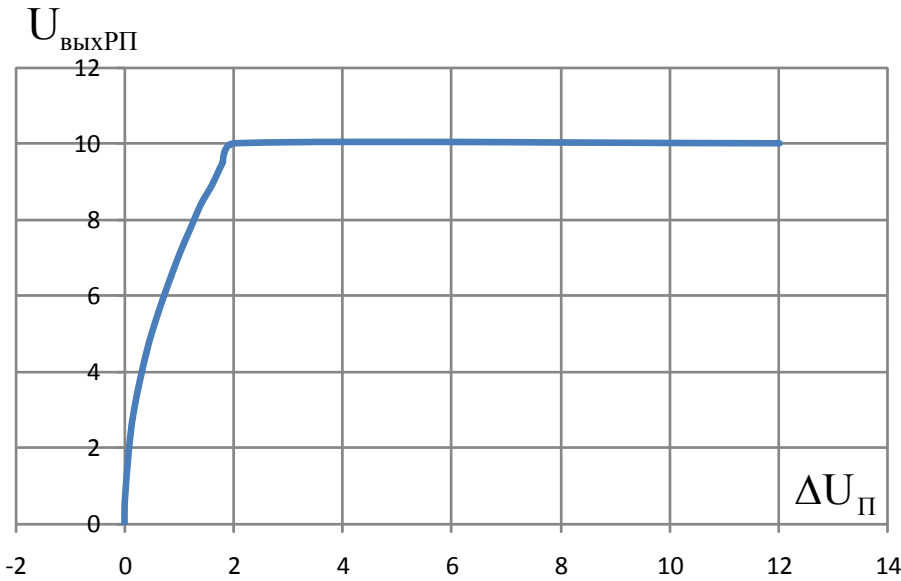


Рис. 1.19. Зависимость $U_{\text{вых РП}} = f(\Delta U_{\text{П}})$

Для электроприводов, обрабатывающих заданное перемещение под нагрузкой и имеющих ошибку при отработке заданного перемещения, необходимо обеспечить зону нечувствительности в характеристике РП для предотвращения протекания тока по неподвижному якорю после отработки заданного перемещения. В момент трогания электропривода величина напряжения с выхода РП должна превысить начальное напряжение $\Delta U_{\text{ПО}}$, которое определяется величиной момента нагрузки, т.е. величиной статического тока, (рис. 1.20)

$$\Delta U_{\text{ПО}} = \frac{I_{\text{С}} \cdot K_{\text{ОТ}}}{K_{\text{РС}} \cdot K_{\text{РПМ}}} = \frac{20 \cdot 0,2}{3,6 \cdot 73} = 0,015 \text{ В.}$$

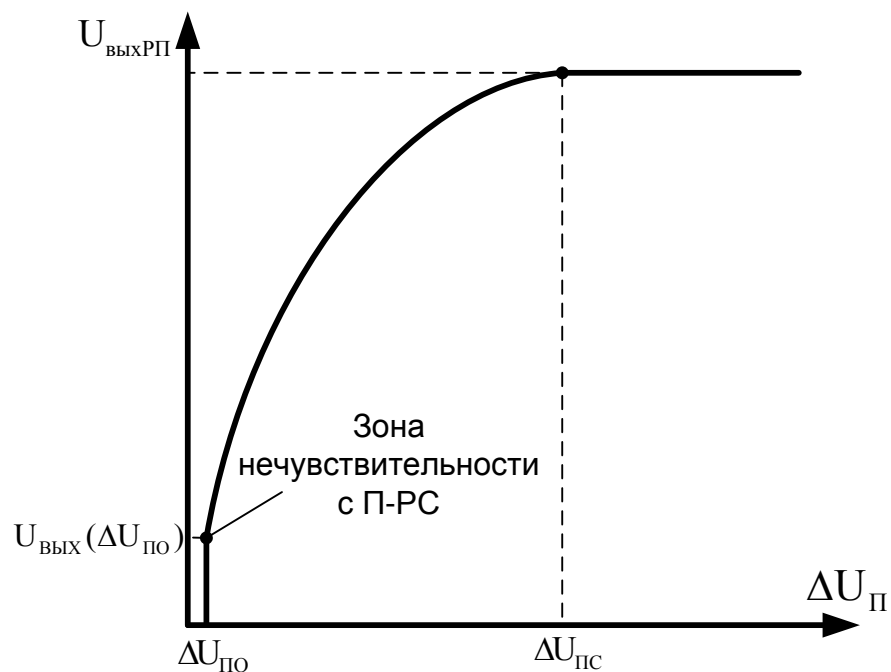


Рис. 1.20. Зависимость РП с зоной нечувствительности для систем с П – РС

Выходное напряжение при этом будет определяться

$$U_{\text{вых}}(\Delta U_{\text{ПО}}) = 7,07 \cdot \sqrt{0,015} = 0,866 \text{ В.}$$

В случае, если регулятор скорости имеет ПИ – структуру, зона нечувствительности не требуется, т.к. интегральная составляющая ПИ – РС выведет ошибку перемещения в нуль.

По расчетным данным контура САРП моделируется структурная схема в Матлабе (рис. 1.21) и строятся переходные процессы основных регулируемых координат: ток, скорость, перемещение в виде сигналов обратных связей (рис. 1.22).

Переходные процессы отражают полный цикл работы электропривода с перемещением нагруженной тележки на 10 метров по наклонной вверх. Статический активный момент

прикладывается до 15 секунды. После разгрузки, тележка возвращается в исходное (начальное) положение. Статическая ошибка по скорости из-за нагрузки на валу двигателя вызывает возникновение ошибки регулирования перемещения $\Delta S_{СП}$. Тем самым, под нагрузкой электропривод отрабатывает перемещение не ровно 10 м, а 9,9. Если технология на требует высокой точности перемещения, то применение САПР с П регулятором скорости является оптимальным, т.к. исключаются перерегулирования по перемещению и по току двигателя.

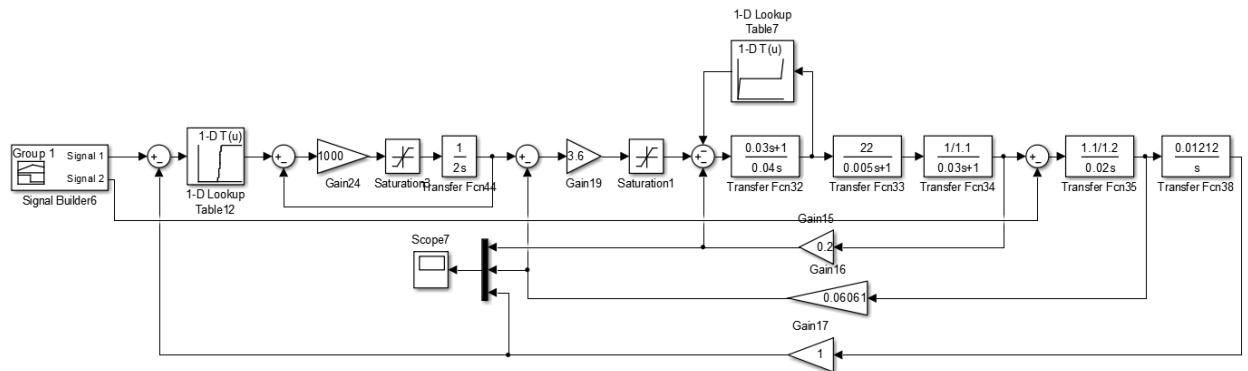


Рис. 1.21. Структурная схема САПР в Матлабе с П – РС

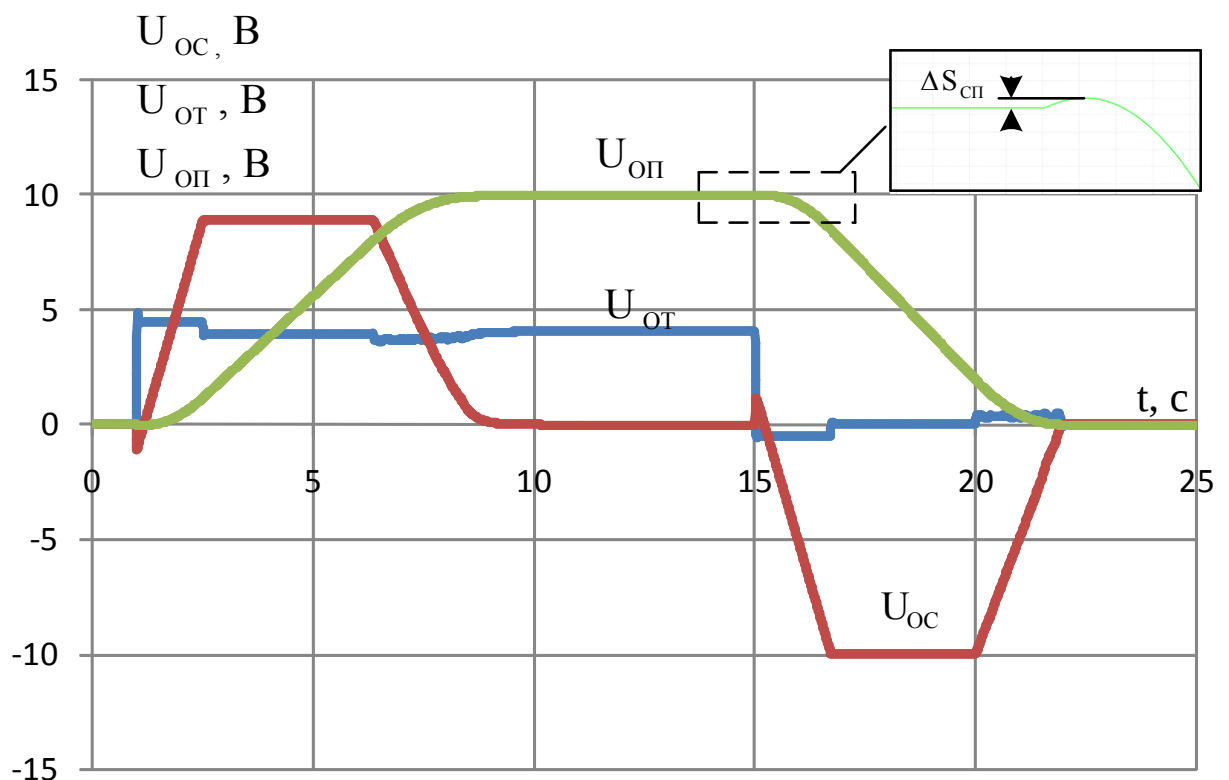


Рис. 1.22. Переходные процессы основных регулируемых координат:

ток, скорость, перемещение в виде сигналов обратных связей с П – РС

Технологические требования в абсолютной точности перемещения (без ошибок), вызывают необходимость в настройке контура скорости на симметричный оптимум. ПИ – РС исключает ошибки регулирования скорости от любой нагрузки на валу и, тем самым, исключается ошибка по перемещению. Математическая модель структурной схемы САПР в Матлабе с ПИ – РС представлена на (рис. 1.23).

Рис. 1.23. Структурная схема САРП в Матлабе с ПИ – РС

$$K_{\text{PIIM}} = \frac{K_{\text{OC}}}{(24 \div 32) T_u \cdot K_{\text{OII}} \cdot K_M} = \frac{0,0606}{(24 \div 32) \cdot 0,005 \cdot 1 \cdot 0,01212} = (41 \div 31) \approx 35,$$

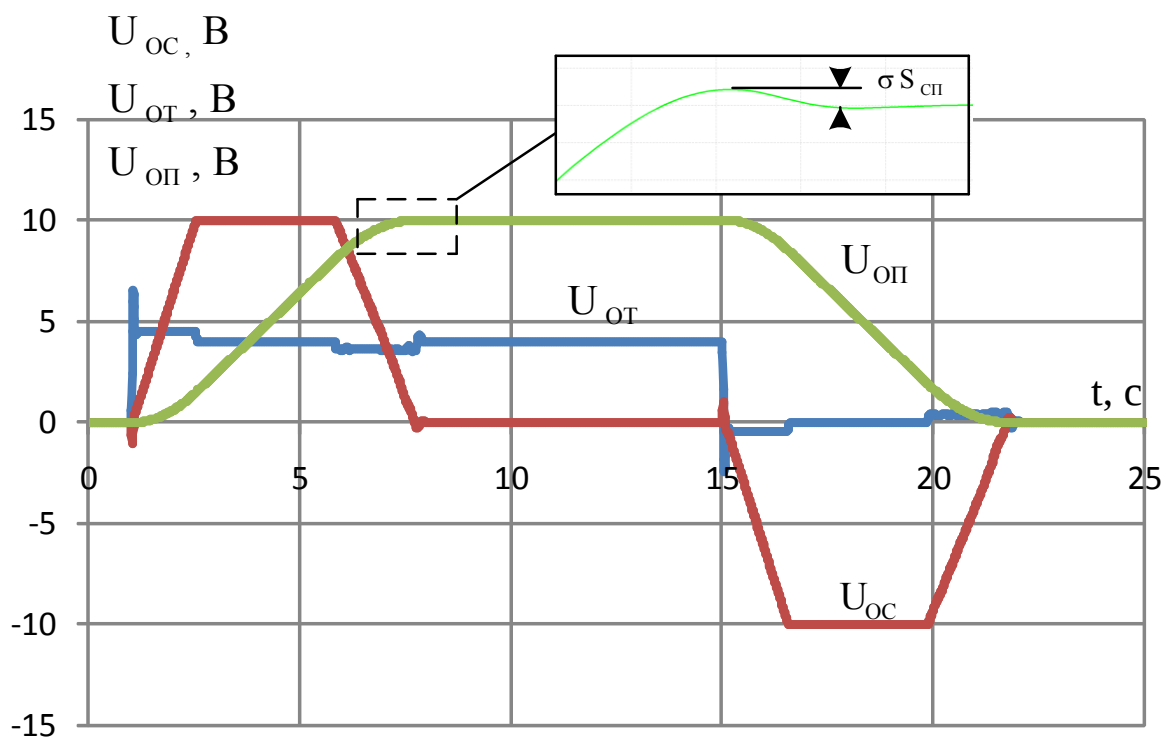


Рис. 1.24. Переходные процессы основных регулируемых координат:

ток, скорость, перемещение в виде сигналов обратных связей с ПИ – РС

Статическая ошибка регулирования $\Delta S_{СП}$, при тех же условиях эксперимента, равна нулю, (рис. 1.24). Но плата за точность – появление перерегулирования перемещения $\sigma S_{СП}$ и тока в 43% от установившегося значения.

Выполнение экспериментов и анализ по отработке малых и средних перемещений, авторы предлагают выполнить самостоятельно.

Расчет частотных характеристик ЛАЧХ и ЛФЧХ в Матлабе двух рассмотренных САПР можно произвести заменой нелинейного РП на пропорциональное звено с коэффициентом передачи больших перемещений $K_{РПБ}$, ограничив выход регулятора ± 10 В, (рис. 1.25). Если этого не сделать и оставить РП нелинейным, то частотные характеристики рассчитаются некорректно, т.к. подпрограмма Матлаба «ругается» на нелинейные звенья.