



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)

КУРСОВАЯ РАБОТА

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	5

Магнитогорск
2019 год

Рабочая программа составлена на основе ФГОС ВО по направлению подготовки 15.03.06 МЕХАТРОНИКА И РОБОТОТЕХНИКА (уровень бакалавриата) (приказ Минобрнауки России от 12.03.2015 г. № 206)

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

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

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 мехатроники

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

1 Цели освоения дисциплины (модуля)

Целями освоения дисциплины «Курсовая работа» являются развитие у студентов личностных качеств, а также формирование профессиональных компетенций в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению 15.03.06 Мехатроника и робототехника, профиль – Мехатроника в автоматизированном производстве.

Задачами дисциплины являются:

- овладение студентами комплексом знаний и умений в области теории, принципов построения и способов реализации мехатронных систем, обеспечивающих требуемые законы изменения координат средствами аналоговой и цифровой техники;
- приобретение навыков проектирования, расчета и исследования таких систем с учетом характеристик и свойств объектов управления и особенностей применяемых технических средств;
- изучение методов теоретического и экспериментального исследования, расчета и проектирования мехатронных систем;
- выработка умения применять полученные знания в будущей самостоятельной профессиональной деятельности.

2 Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Дисциплина Курсовая работа входит в вариативную часть учебного плана образовательной программы.

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

Электрические машины

Моделирование мехатронных систем

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

Проектирование мехатронных систем

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

В результате освоения дисциплины (модуля) «Курсовая работа» обучающийся должен обладать следующими компетенциями:

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения
ПК-31	готовностью производить инсталляцию и настройку системного, прикладного и инструментального программного обеспечения мехатронных и робототехнических систем и их подсистем
Знать	- состояние и тенденции развития современных мехатронных систем; - принципы построения и способы реализации мехатронных систем; - принципы построения и способы реализации робототехнических систем андроида типа

Уметь	<ul style="list-style-type: none">- проектировать, рассчитывать и исследовать мехатронные системы с учетом характеристик и свойств объектов управления и особенностей применяемых технических средств, включая современные комплектные электроприводы;- применять принципы построения и способы реализации мехатронных систем;- применять принципы построения и способы реализации робототехнических систем андроида типа.
Владеть	<ul style="list-style-type: none">- современными методами теоретического и экспериментального исследований мехатронных систем;- навыками построения и способов реализации мехатронных систем;- навыками построения и способами реализации робототехнических систем андроида типа.

4. Структура, объём и содержание дисциплины (модуля)

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единиц 108 акад. часов, в том числе:

- контактная работа – 10,2 акад. часов;
- аудиторная – 10 акад. часов;
- внеаудиторная – 0,2 акад. часов
- самостоятельная работа – 90 акад. часов;
- подготовка к зачёту – 7,8 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 Практическое занятие «Режимы работы электроприводов, особенности выбора электропривода в зависимости от режима работы электропривода»	5			2	10	Проработка контрольных вопросов по текущей теме, а так же учебной литературы [1,2]. Выполнение практического задания №1	Устный опрос (собеседование). Проверка практического задания №1	ПК-31
1.2 Практическое занятие «Построение нагрузочных диаграмм и тахограммы работы электропривода в зависимости от особенностей приводного механизма»				2/2И	10	Проработка контрольных вопросов по текущей теме, а так же учебной литературы [1,2]. Выполнение практического задания №2	Устный опрос (собеседование). Проверка практического задания №2	ПК-31
1.3 Практическое занятие «Выбор системы управления электроприводом в зависимости от особенностей приводного механизма»				2/2И	10	Проработка контрольных вопросов по текущей теме, а так же учебной литературы [1,2]. Выполнение практического задания №3	Устный опрос (собеседование). Проверка практического задания №3	ПК-31
1.4 Практическое занятие «Особенности выбора и реализации элементов системы управления электроприводов»				2/2И	20	Проработка контрольных вопросов по текущей теме, а так же учебной литературы [1,2]. Выполнение практического задания №4	Устный опрос (собеседование). Проверка практического задания №4	ПК-31

1.5 Практическое занятие «Методы моделирования автоматизированных электроприводов»				2/2И	40	Проработка контрольных вопросов по текущей теме, а так же учебной литературы [1,2]. Выполнение практического задания №5	Устный опрос (собеседование). Проверка практического задания №5. Проверка АКР.	ПК-31
Итого по разделу				10/8И	90			
Итого за семестр				10/8И	90		зачёт	
Итого по дисциплине				10/8И	90		зачет	ПК-31

5 Образовательные технологии

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

Передача необходимых практических навыков и умений, а так же формирование основных представлений по курсу «Курсовая работа» происходит с использованием мультимедийного оборудования.

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

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. Сарапулов, О. А. Электрический привод : [учебное пособие по лабораторному практикуму для группы направления подготовки бакалавров 15.03.02- "Электротехника и электроэнергетика"] / О. А. Сарапулов, В. Г. Рыжков ; МГТУ ; Белорецкий филиал. - Магнитогорск, 2015. - 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). - URL: <https://magtu.informsystema.ru/uploader/fileUpload?name=3093.pdf&show=dcatalogues/1/1135451/3093.pdf&view=true> (дата обращения: 04.10.2019). - Макрообъект. - Текст : электронный.

2. Линьков, С. А. Электропривод постоянного и переменного тока в статических и динамических режимах : учебно-методическое пособие / С. А. Линьков, Е. Я. Омельченко. - Магнитогорск : МГТУ, 2014. - URL: <https://magtu.informsystema.ru/uploader/fileUpload?name=929.pdf&show=dcatalogues/1/1118946/929.pdf&view=true> (дата обращения: 04.10.2019). - Макрообъект. - Текст : электронный.

б) Дополнительная литература:

1. Селиванов, И. А. Автоматизированный электропривод : учебное пособие / И. А. Селиванов, Ю. И. Мамлеева, Е. Э. Бодров ; МГТУ. - Магнитогорск, 2013. - 202 с. : ил., граф., схемы, табл. - URL: <https://magtu.informsystema.ru/uploader/fileUpload?name=635.pdf&show=dcatalogues/1/1109437/635.pdf&view=true> (дата обращения: 04.10.2019). - Макрообъект. - Текст : электронный. - ISBN 978-5-9967-0364-7.

в) Методические указания:

Представлено в приложении 4.

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
MathWorks MathLab v.2014 Classroom License	К-89-14 от 08.12.2014	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/
Национальная информационно-аналитическая система – Российский индекс научного цитирования (РИНЦ)	URL: https://elibrary.ru/project_risc.asp
Поисковая система Академия Google (Google Scholar)	URL: https://scholar.google.ru/
Информационная система - Единое окно доступа к информационным ресурсам	URL: http://window.edu.ru/

9 Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Материально-техническое обеспечение дисциплины включает:

Тип и название аудитории	Оснащение аудитории
Лекционная аудитория	Мультимедийные средства хранения, передачи и представления информации
Аудитории для самостоятельной работы: компьютерные классы; читальные залы библиотеки	Персональные компьютеры с пакетом MS Office, выходом в Интернет и с доступом в электронную информационно-образовательную среду университета

Приложение 1. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов

Внеаудиторная самостоятельная работа студентов осуществляется в виде чтения с проработкой материала с консультациями преподавателя и оформления выполненных практических работ, АКР, с проработкой основных вопросов к практическим работам.

Перечень контрольных вопросов для проведения промежуточной аттестации

1. Какие требования предъявляются при оформлении конструкторско - технической документации?
2. Какова структура курсового проекта (работы)?
3. Какие требования предъявляются к тексту пояснительной записки?
4. Как выполняется оформление формул, таблиц, ссылок на формулы, таблицы, литературные источники?
5. Как необходимо оформлять иллюстрации?
6. Как необходимо оформлять приложения?
7. Как оформляются сокращения?
8. Каковы требования к оформлению графического материала?
9. Какие технические данные необходимы для построения нагрузочной диаграммы рабочего механизма?
10. Какие технические данные необходимы для построения тахограммы работы проектируемого механизма?
11. Какие виды нагрузок имеют производственные механизмы?
12. Что определяет выбор рода тока приводного электродвигателя?
13. Какие существуют основные режимы работы электроприводов?
14. Как выполняется проверка электродвигателя по условию нагрева?
15. Какие существуют методы проверки электродвигателя по нагреву?
16. Как выполняется проверка электродвигателя по условию перегрузки?
17. Какие основные требования необходимо выполнить при выборе силового преобразователя?
18. Защиты силовых преобразователей.
19. Какие достоинства и недостатки присущи тиристорным преобразователям?
20. Достоинства и недостатки преобразователей частоты с неосредственной связью?
21. Достоинства и недостатки преобразователей частоты с автономным инвертором тока?
22. Достоинства и недостатки преобразователей частоты с автономным инвертором напряжения?
23. Особенности применения тиристорных преобразователей по условию перегрузки?
24. Особенности применения преобразователей частоты по условию перегрузки?
25. Какие существуют режимы работы силовых преобразователей в зависимости от нагрузки?
26. Какие требования к системе управления электроприводом можно сформулировать для проектируемой технологической установки?
27. Как влияет вид нагрузки электропривода на выбор системы управления?
28. Принципы построения систем подчиненного регулирования координат в электроприводе?
29. Особенности системы управления с обратной связью по ЭДС.
30. Особенности двухзонной системы управления электроприводом.
31. Особенности системы управления позиционным электроприводом.
32. В каком случае применяют системы скалярного управления электроприводом переменного тока?
33. Достоинства и недостатки скалярного управления.
34. Формирование требуемых механических характеристик в системах скалярного управления.
35. От чего зависит выбор характеристики функционального преобразователя в системе скалярного управления.
36. Как правильно выполнить настройку функционального преобразователя в системе скалярного управления.
37. Принцип построения систем векторного управления.
38. Достоинства и недостатки векторного управления электроприводом переменного тока.
39. Особенности формирования механических характеристик в системе векторного управления.
40. Прямое управление моментом электропривода переменного тока.

Приложение 2. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины

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

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
ПК-31: готовностью производить инсталляцию и настройку системного, прикладного и инструментального программного обеспечения мехатронных и робототехнических систем и их подсистем		
Знать	<p>- состояние и тенденции развития современных мехатронных систем;</p> <p>- принципы построения и способы реализации мехатронных систем;</p> <p>- принципы построения и способы реализации робототехнических систем андроида типа</p>	<p>Перечень контрольных вопросов для проведения промежуточной аттестации</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Какие требования предъявляются при оформлении конструкторско - технической документации? 2. Какова структура курсового проекта (работы)? 3. Какие требования предъявляются к тексту пояснительной записки? 4. Как выполняется оформление формул, таблиц, ссылок на формулы, таблицы, литературные источники? 5. Как необходимо оформлять иллюстрации? 6. Как необходимо оформлять приложения? 7. Как оформляются сокращения? 8. Каковы требования к оформлению графического материала? 9. Какие технические данные необходимы для построения нагрузочной диаграммы рабочего механизма? 10. Какие технические данные необходимы для построения тахограммы работы проектируемого механизма? 11. Какие виды нагрузок имеют производственные механизмы? 12. Что определяет выбор рода тока приводного электродвигателя? 13. Какие существуют основные режимы работы электроприводов? 14. Как выполняется проверка электродвигателя по условию нагрева? 15. Какие существуют методы проверки электродвигателя по нагреву? 16. Как выполняется проверка электродвигателя по условию перегрузки? 17. Какие основные требования необходимо выполнить при выборе силового преобразователя? 18. Защиты силовых преобразователей. 19. Какие достоинства и недостатки присущи тиристорным преобразователям? 20. Достоинства и недостатки преобразователей частоты с непосредственной связью? 21. Достоинства и недостатки преобразователей частоты с автономным инвертором тока?

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		<ul style="list-style-type: none"> 22. Достоинства и недостатки преобразователей частоты с автономным инвертором напряжения? 23. Особенности применения тиристорных преобразователей по условию перегрузки? 24. Особенности применения преобразователей частоты по условию перегрузки? 25. Какие существуют режимы работы силовых преобразователей в зависимости от нагрузки? 26. Какие требования к системе управления электроприводом можно сформулировать для проектируемой технологической установки? 27. Как влияет вид нагрузки электропривода на выбор системы управления? 28. Принципы построения систем подчиненного регулирования координат в электроприводе? 29. Особенности системы управления с обратной связью по ЭДС. 30. Особенности двухзонной системы управления электроприводом. 31. Особенности системы управления позиционным электроприводом. 32. В каком случае применяют системы скалярного управления электроприводом переменного тока? 33. Достоинства и недостатки скалярного управления. 34. Формирование требуемых механических характеристик в системах скалярного управления. 35. От чего зависит выбор характеристики функционального преобразователя в системе скалярного управления. 36. Как правильно выполнить настройку функционального преобразователя в системе скалярного управления. 37. Принцип построения систем векторного управления. 38. Достоинства и недостатки векторного управления электроприводом переменного тока. 39. Особенности формирования механических характеристик в системе векторного управления. 40. Прямое управление моментом электропривода переменного тока.
Уметь	- проектировать, рассчитывать и исследовать мехатронные системы с учетом характеристик и свойств объектов управления и особенностей применяемых технических	Практические задания по темам 1-3, (Приложение 3).

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
	<p>средств, включая современные комплектные электроприводы;</p> <ul style="list-style-type: none"> - применять принципы построения и способы реализации мехатронных систем; - применять принципы построения и способы реализации робототехнических систем андроидного типа. 	
Владеть	<ul style="list-style-type: none"> - современными методами теоретического и экспериментального исследований мехатронных систем; - навыками построения и способов реализации мехатронных систем; - навыками построения и способами реализации робототехнических систем андроидного типа. 	Практические задания по темам 4-5, АКР, (Приложение 3).

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

Промежуточная аттестация по дисциплине «Курсовая работа» включает теоретические вопросы, позволяющие оценить уровень усвоения обучающимися знаний, и практические задания, выявляющие степень сформированности умений и владений.

Показатели и критерии аттестации (зачет):

- обучающийся получает отметку «зачтено» при условии выполнения и защиты всех предусмотренных заданий на оценку не ниже «удовлетворительно».

Приложение 3

Практические задания 1-5 по дисц. Курсовая работа.
Аттестационная контрольная работа

**Моделирование разомкнутой системы ТП-Д
в программе MatLab Simulink**

В разделе визуального моделирования авторы учебного пособия постарались максимально точно воссоздать двухзонную систему ТП-Д УЛС в компьютерной модели. Это позволит студентам, выполняющим лабораторные работы, проводить сравнительный анализ динамики экспериментальных и виртуальных переходных процессов, что поможет им лучше усваивать учебный материал.

Моделирование переходных процессов системы ТП-Д в программе MatLab Simulink возможно с помощью структурной схемы, представленной на рис. 2.16, [3].

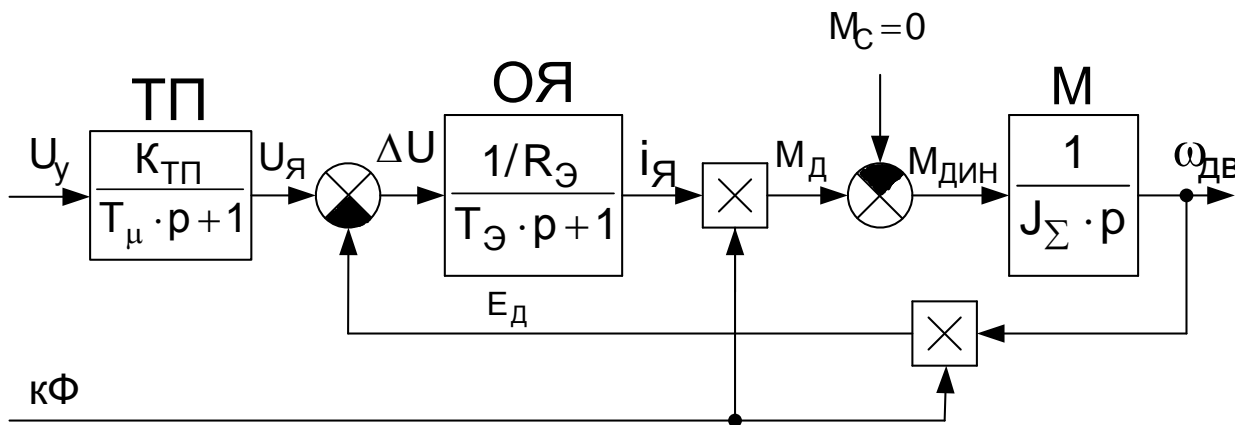


Рис. 2.16. Структурная схема системы ТП - Д

Тиристорный преобразователь ТП моделируется апериодическим звеном первого порядка с постоянной времени T_μ и коэффициентом тиристорного преобразователя

$$K_{\text{ТП}} = \frac{U_{\text{яН}}}{U_{\text{уН}}},$$

где $U_{\text{яН}} = 220\text{В}$ – номинальное напряжение якоря ДПТ;

$U_{\text{уН}} = 10\text{ В}$ – номинальное напряжение управления ТП;

$T_\mu = 0,005\text{ с}$ – некомпенсированная постоянная времени ТП.

Обмотка якорной цепи ОЯ описывается инерционным звеном

$$W(p) = \frac{1/R_\text{э}}{T_\text{э} \cdot p + 1},$$

где $R_\text{э} = R_{\Sigma\text{Я}80^\circ\text{C}} + a_B \left(R_T + \frac{m \cdot x_T}{2\pi} \right)$;

$R_{\Sigma Я 80^{\circ}C} = 1,24(R_{Я 20^{\circ}C} + R_{CD 20^{\circ}C})$ - суммарное омическое сопротивление якорной цепи при $20^{\circ}C$;

$R_{Я 20^{\circ}C}$ - омическое сопротивление якорной обмотки при $20^{\circ}C$;

$R_{CD 20^{\circ}C}$ - омическое сопротивление сглаживающего дросселя в цепи якоря;

$a_B = 2$ - коэффициент трехфазной мостовой схемы выпрямления ТП;

$R_T = \frac{U_H^2}{S_H^2} \cdot \Delta P_K$ - активное сопротивление фазы трансформатора;

$m = 3$ - число фаз питающей сети;

$X_T = 2\pi f_C \cdot L_m$ - индуктивное сопротивление фазы трансформатора;

L_m - индуктивность фазы трансформатора;

f_C - частота питающей сети.

Постоянная времени якорной цепи

$$T_{\Theta} = \frac{L_{\Theta}}{R_{\Theta}},$$

где $L_{\Theta} = L_{Я} + a_B \cdot L_m$;

$L_{Я}$ - индуктивность обмотки якоря.

Передаточная функция, описывающая механическую инерцию якоря, представлена интегрирующим звеном

$$W(p) = \frac{1}{J_{\Sigma} \cdot p},$$

где J_{Σ} - суммарный момент инерции двигательного агрегата М1 - М2, связанный ремённой передачей.

Номинальный поток двигателя можно рассчитать по формуле

$$k\Phi_H = \frac{U_H - I_H \cdot R_{Я 80^{\circ}C}}{\omega_H},$$

где $\omega_H = 0,1047 \cdot n_H$ - номинальная угловая скорость двигателя в рад/с;

n_H - номинальная частота вращения двигателя в об/мин;

I_H - номинальный ток якоря двигателя.

Номинальный момент двигателя рассчитывается по формуле

$$M_H = k\Phi_H \cdot I_H.$$

Первый эксперимент в программе MatLab Simulink предполагает исследование переходных процессов $U_{Я} = f(t)$, $i_{Я} = f(t)$, $\omega_{дв} = f(t)$ системы ТП-Д при пуске двигателя от задатчика интенсивности, работе двигателя в статическом режиме с последующим торможением от задатчика интенсивности. Управляющим воздействием системы ТП-Д в данном случае является напряжение управления ТП, (рис. 2.17).

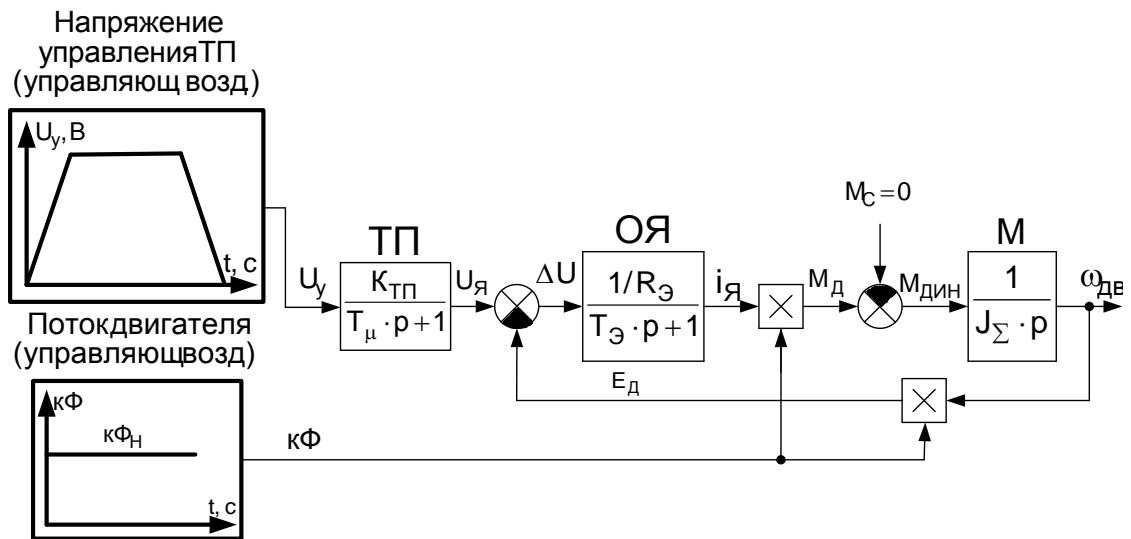


Рис. 2.17. Разгон и торможение двигателя на х/х

На рис. 2.18 представлены параметры управляющих сигналов напряжения управления ТП и номинального потока двигателя.

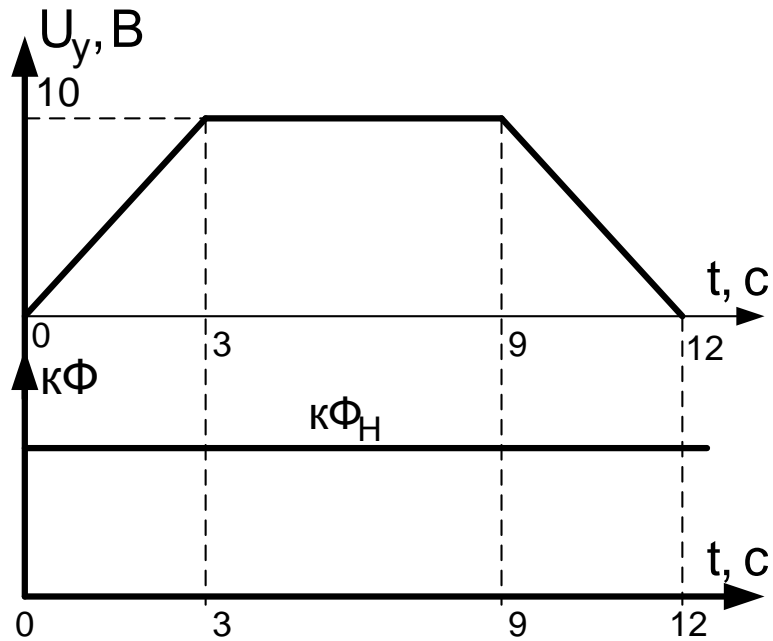


Рис. 2.18. Управляющие сигналы напряжения управления ТП и номинального потока двигателя

Во втором эксперименте в программе MatLab Simulink нужно исследовать переходные процессы $U_{я} = f(t)$, $i_{я} = f(t)$, $\omega_{дв} = f(t)$ при скачкообразном ослаблении потока у работающего двигателя. Управляющим воздействием системы ТП-Д в данном случае является напряжение управления ТП и поток двигателя, который ослабляется скачком в 2 раза во время работы двигателя при номинальной скорости, (рис. 2.19).

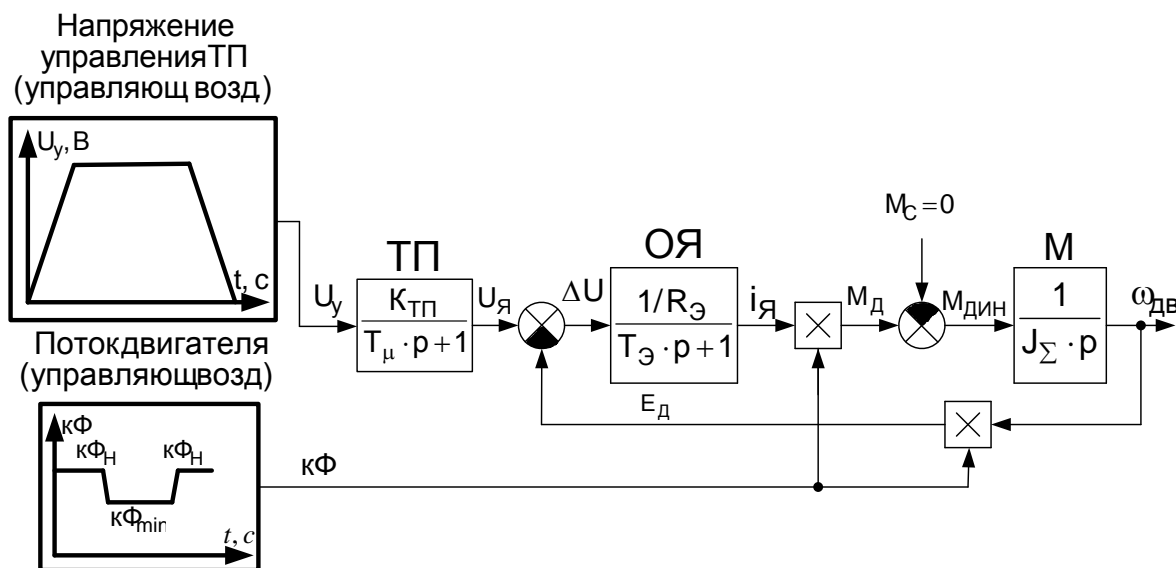


Рис. 2.19. Разгон и торможение двигателя на х/х при ослабленном магнитном потоке

На рис. 2.20 представлены параметры управляющих сигналов напряжения управления ТП и потока двигателя при ослаблении потока до $0,5 \cdot k\Phi_H$.

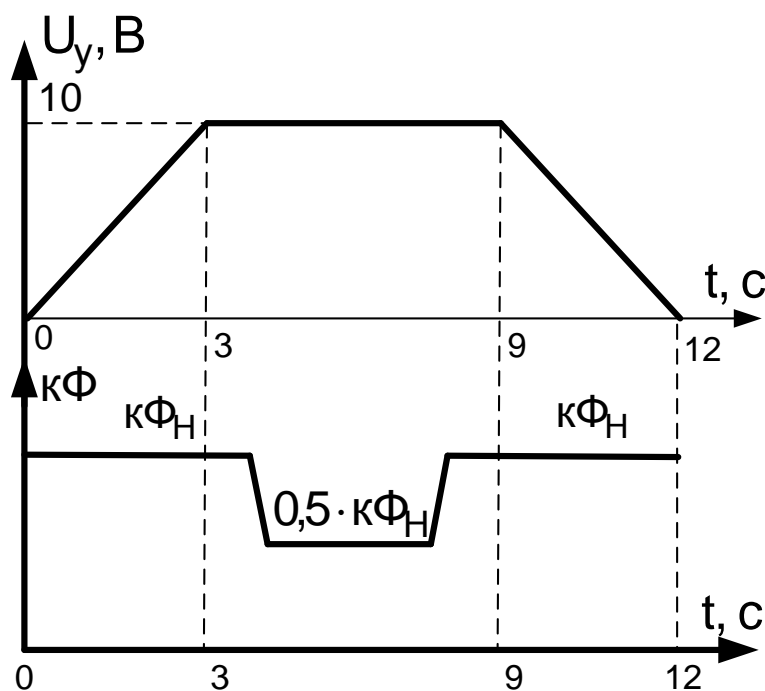


Рис. 2.20. Управляющие сигналы напряжения управления ТП и номинального потока двигателя при ослаблении потока до $0,5 \cdot k\Phi_H$

В третьем эксперименте необходимо получить переходные процессы $U_{я} = f(t)$, $i_{я} = f(t)$, $\omega_{дв} = f(t)$ при скачкообразном приложении номинального статического момента к валу двигателя, работающего на номинальной скорости. Управляющим воздействием системы ТП-Д в данном случае является напряжение управления ТП, а возмущающим – скачкообразная нагрузка на валу двигателя, (рис. 2.21-2.22).

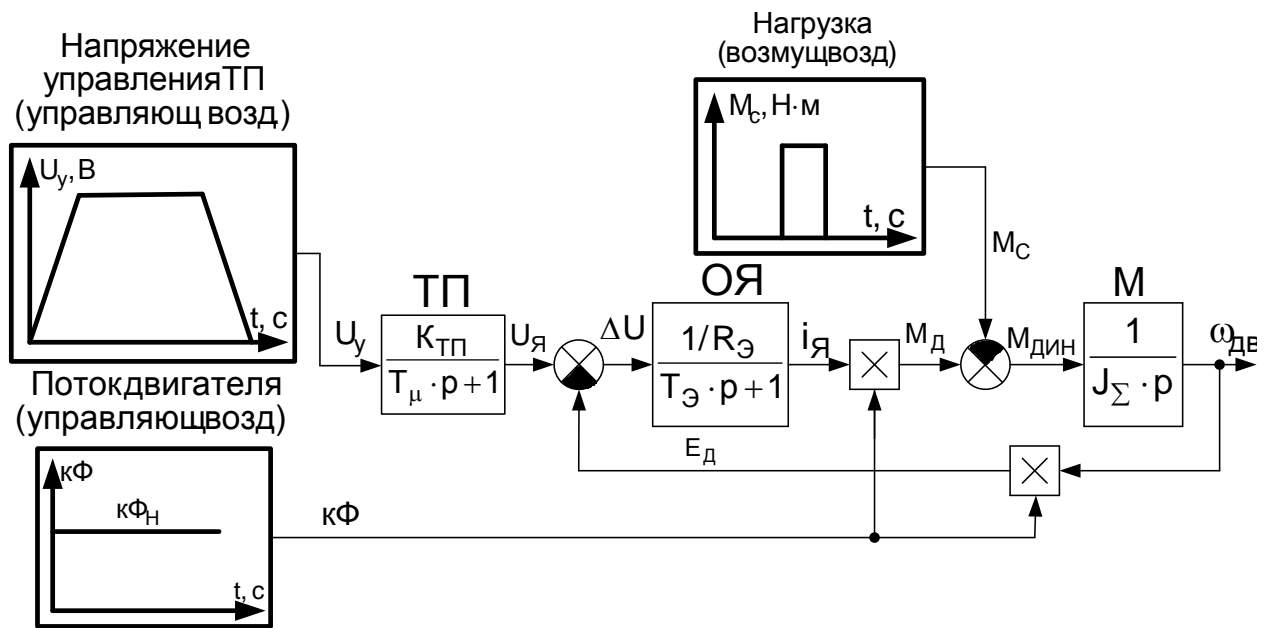


Рис. 2.21. Разгон, работа и торможение двигателя с применением скачкообразной статической нагрузки

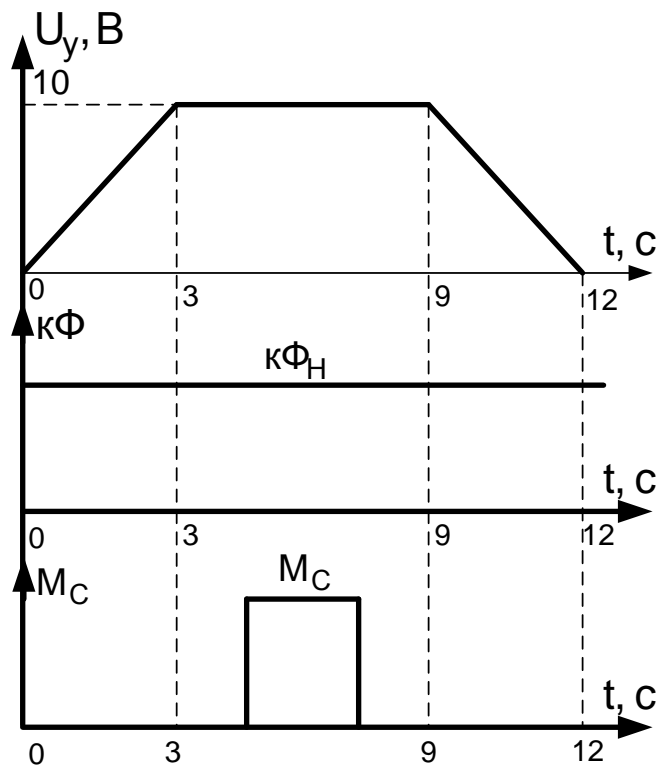


Рис. 2.22. Управляющие сигналы напряжения управления ТП, номинального потока двигателя и возмущающего – статического момента

В четвертом эксперименте, к работающему на номинальной скорости двигателю, скачком прикладывается статический момент при ослабленном в 2 раза магнитном потоке. Необходимо исследовать и проанализировать переходные процессы $U_{я} = f(t)$, $i_{я} = f(t)$, $\omega_{дв} = f(t)$. Управляющим воздействием системы ТП-Д в данном случае является напряжение управления ТП и поток, а возмущающим – скачкообразная нагрузка на валу двигателя, (рис. 2.23-2.24).

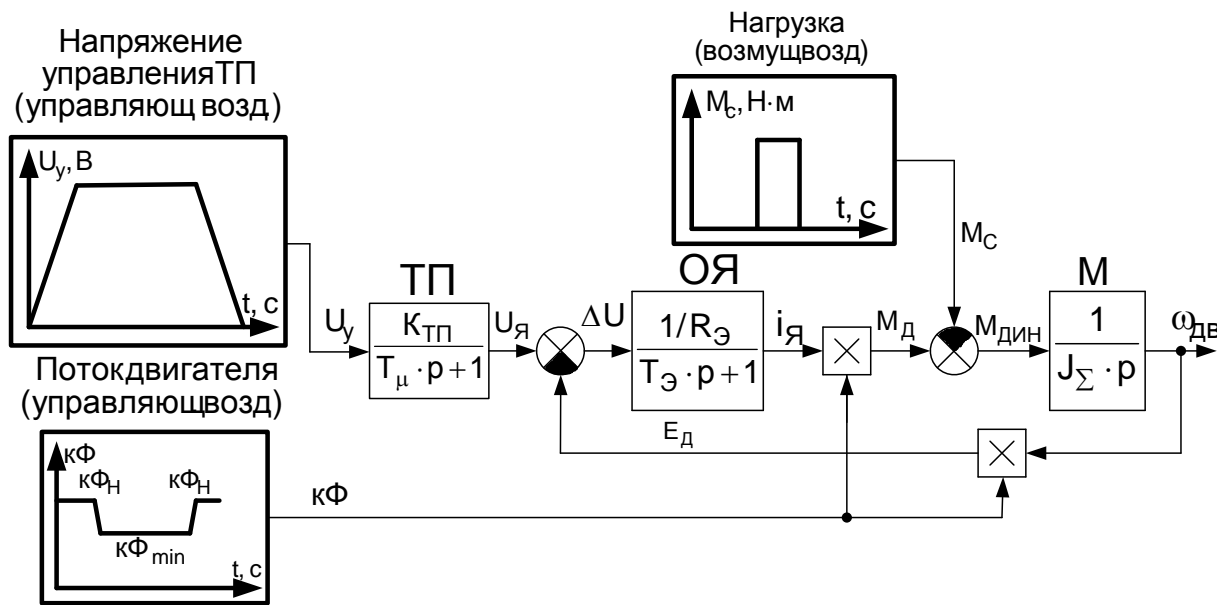


Рис. 2.23. Разгон, работа и торможение двигателя с приложением скачкообразной статической нагрузки при ослабленном магнитном потоке

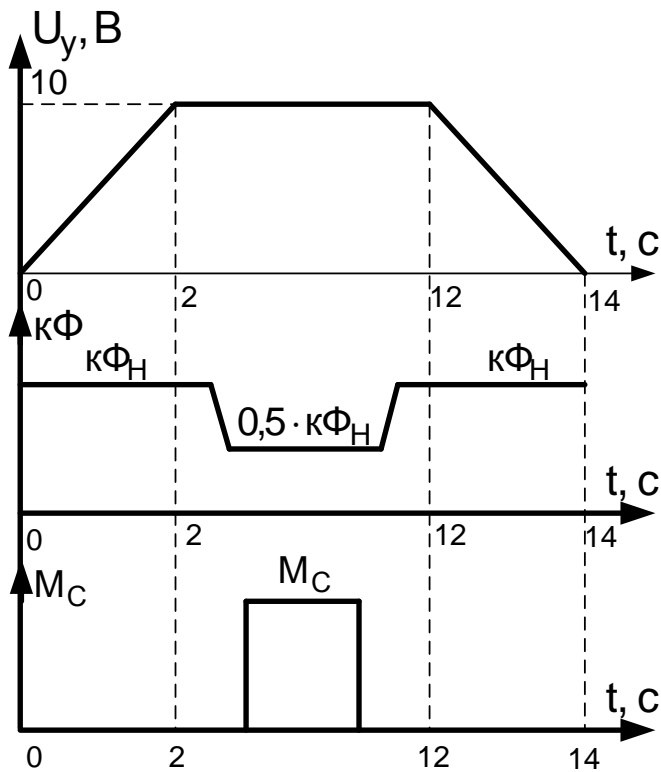


Рис. 2.24. Управляющие сигналы напряжения управления ТП, номинального потока двигателя и возмущающего – статического момента при ослабленном потоке

Пятый эксперимент предполагает исследование переходных процессов $U_{я} = f(t)$, $i_{я} = f(t)$, $\omega_{дв} = f(t)$ с линейно изменяющейся нагрузкой на валу работающего на номинальной скорости двигателя. В данном случае, управляющими сигналами будут – напряжение управления ТП и номинальный поток, а возмущающим – линейный момент на валу двигателя, (рис. 2.25-2.26).

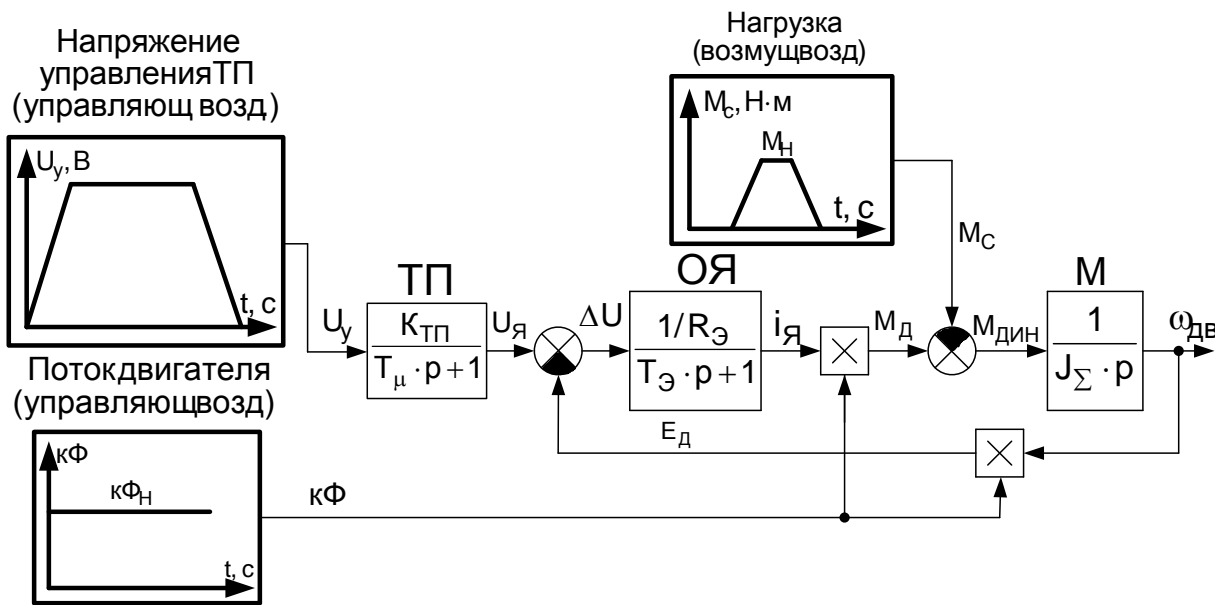


Рис. 2.25. Разгон, работа и торможение двигателя с применением линейной статической нагрузки

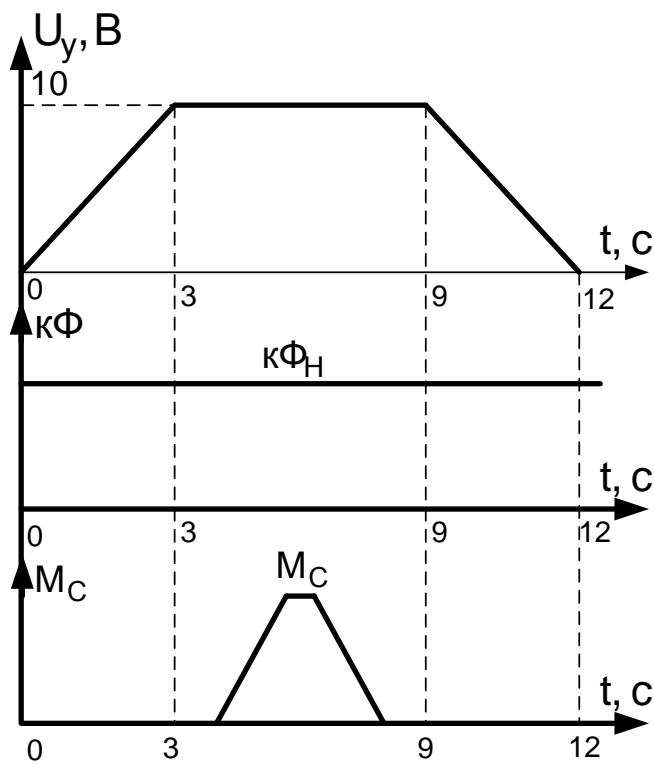


Рис. 2.26. Управляющие сигналы напряжения управления ТП, номинального потока двигателя и возмущающего – линейного статического момента

В последнем шестом эксперименте необходимо получить переходные процессы $U_{я} = f(t)$, $i_{я} = f(t)$, $\omega_{дв} = f(t)$ при скачкообразном приложении номинального статического момента к валу двигателя, работающего на номинальной скорости с добавочными сопротивлениями в якорной цепи $R_{д\Sigma} = R_{д1} + R_{д2}$. Управляющим воздействием системы ТП-Д в данном случае является напряжение управления ТП, а возмущающим – скачкообразная нагрузка на валу двигателя. Для реализации данного эксперимента нужно пересчитать эквивалентное сопротивление якорной цепи с учетом $R_{д\Sigma} = R_{д1} + R_{д2}$ по формуле

$$R_{\Sigma} = R_{\Sigma Я80^{\circ}C} + R_{d\Sigma} + a_B \left(R_T + \frac{m \cdot x_T}{2\pi} \right).$$

Структурная схема для моделирования ДПТ в программе Matlab Simulink с рассчитанными параметрами приведена на (рис. 2.27).

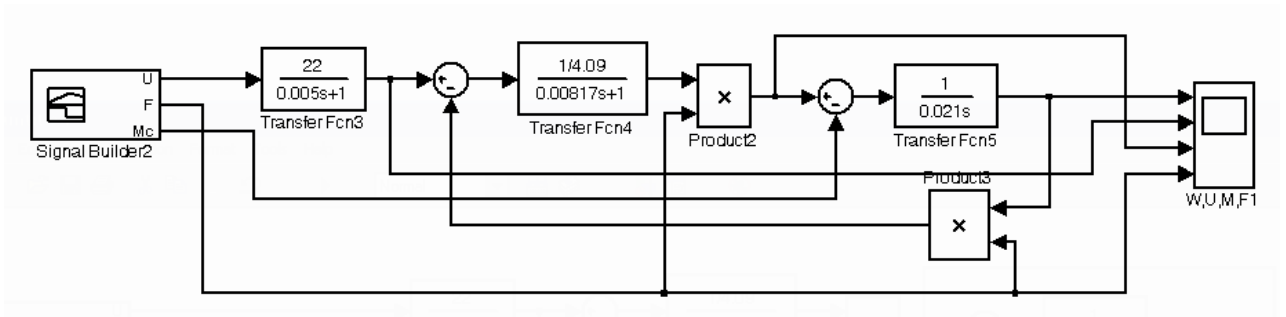


Рис. 2.27. Модель ДПТ с двухзонным регулированием скорости в программе Matlab Simulink

На (рис. 2.28-2.39) приведены переходные процессы основных координат электропривода для шести экспериментов, описанных выше.

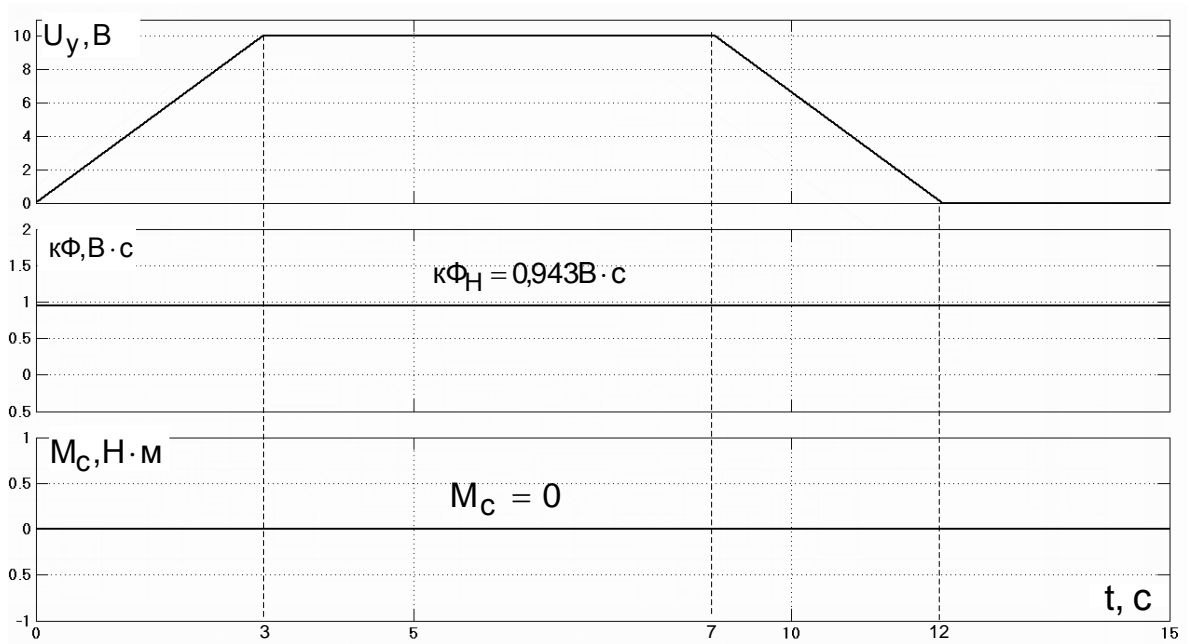


Рис. 2.28. Сигналы задания для привода в режиме х/х

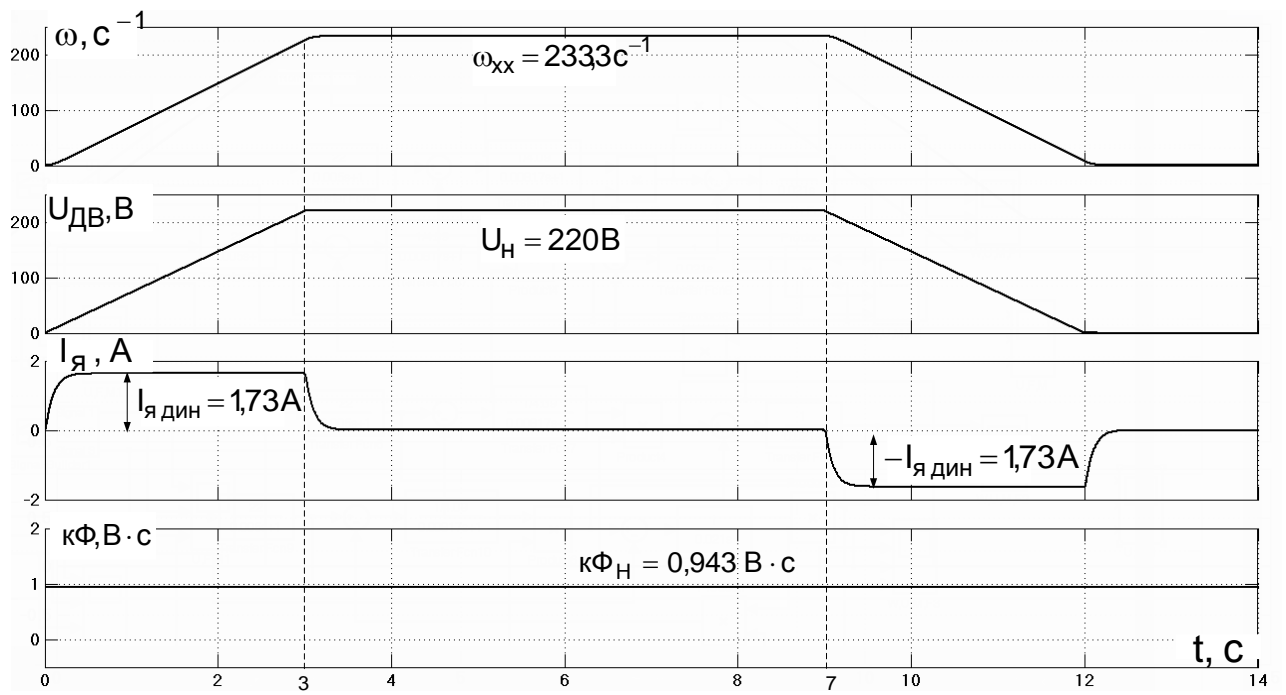


Рис. 2.29. Переходные процессы привода в режиме х/х в первой зоне регулирования скорости

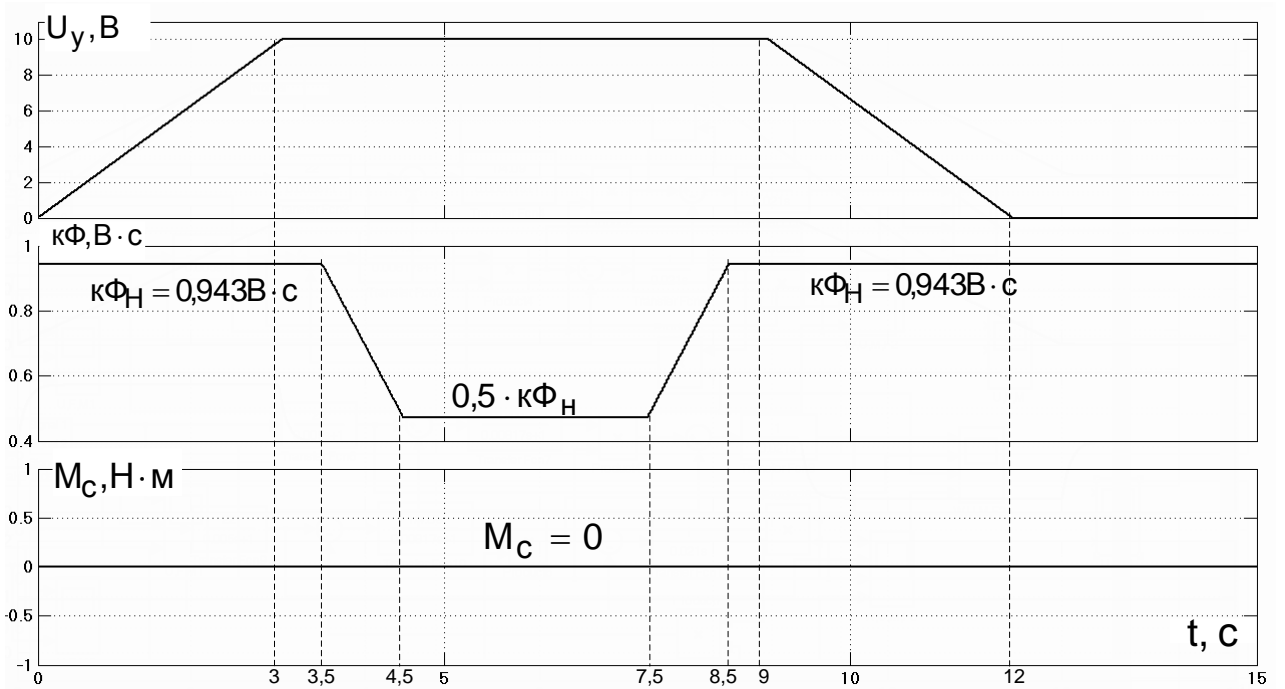


Рис. 2.30. Сигналы задания привода в режиме х/х с ослаблением магнитного потока

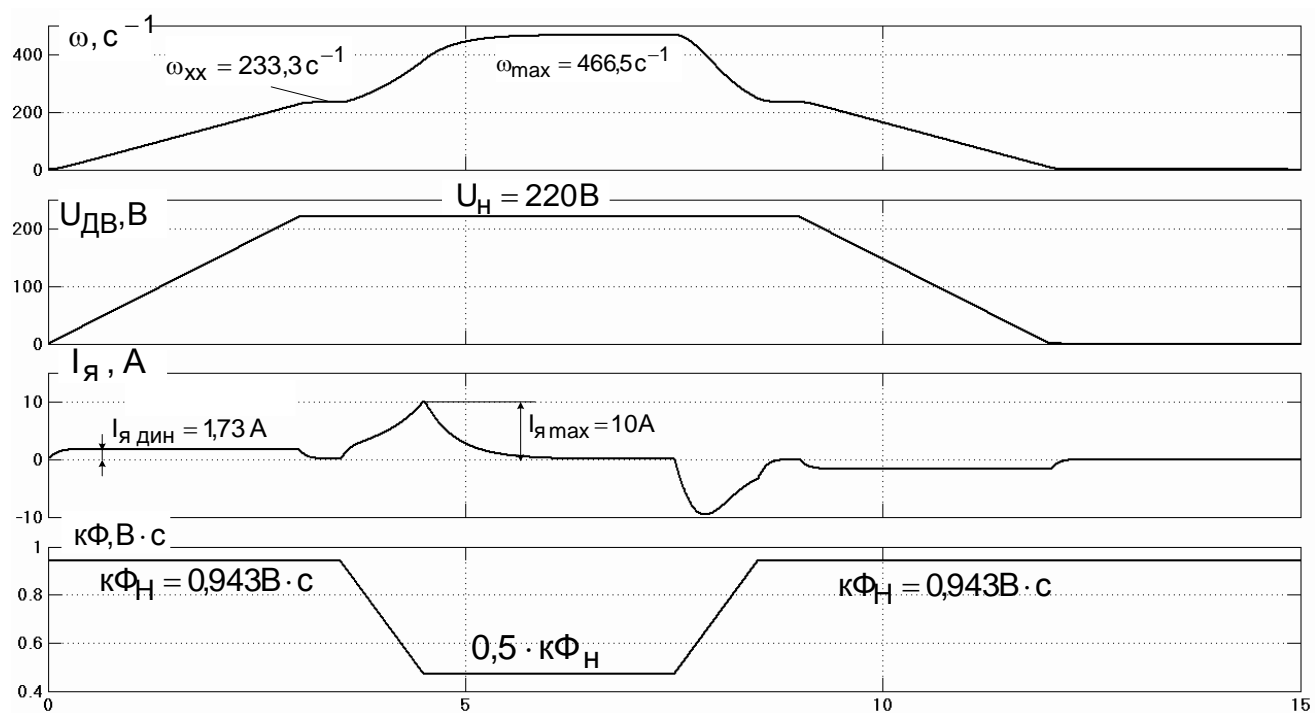


Рис. 2.31. Переходные процессы привода в режиме х/х в первой и второй зоне регулирования скорости

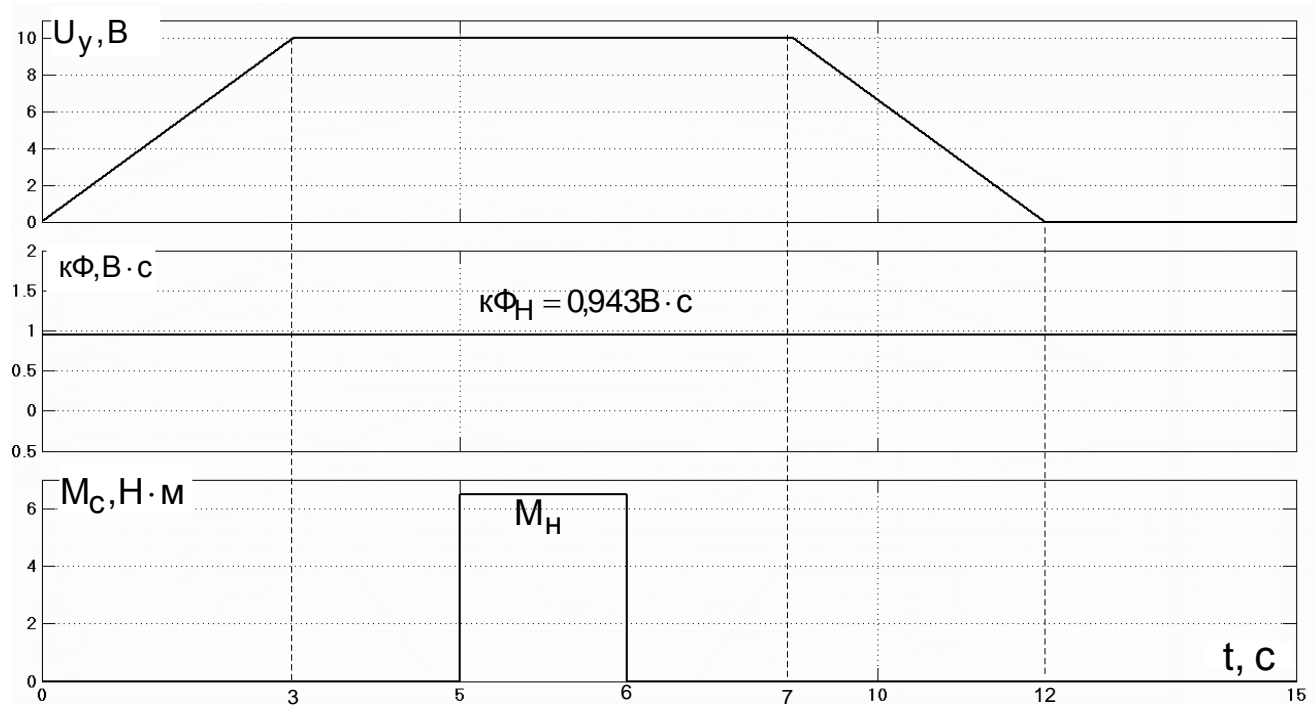


Рис. 2.32. Сигналы задания привода с ударным приложением статического момента

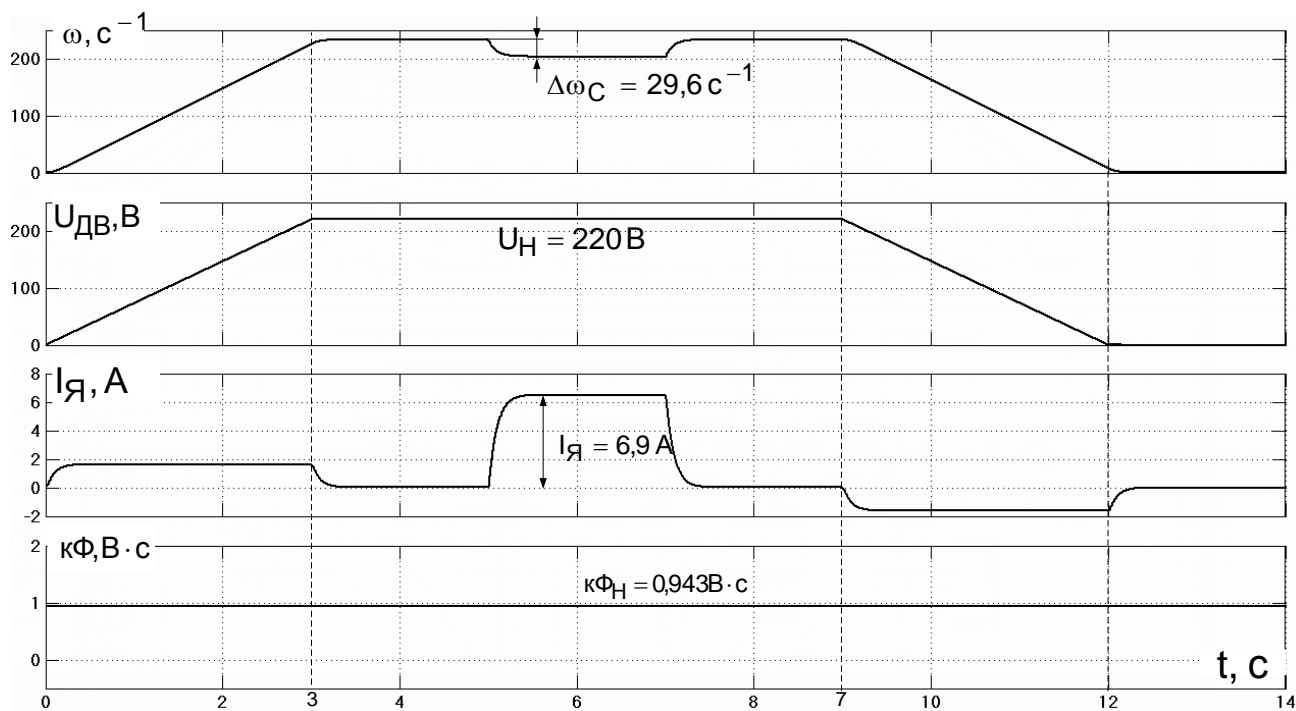


Рис. 2.33. Переходные процессы привода с ударным приложением статического момента

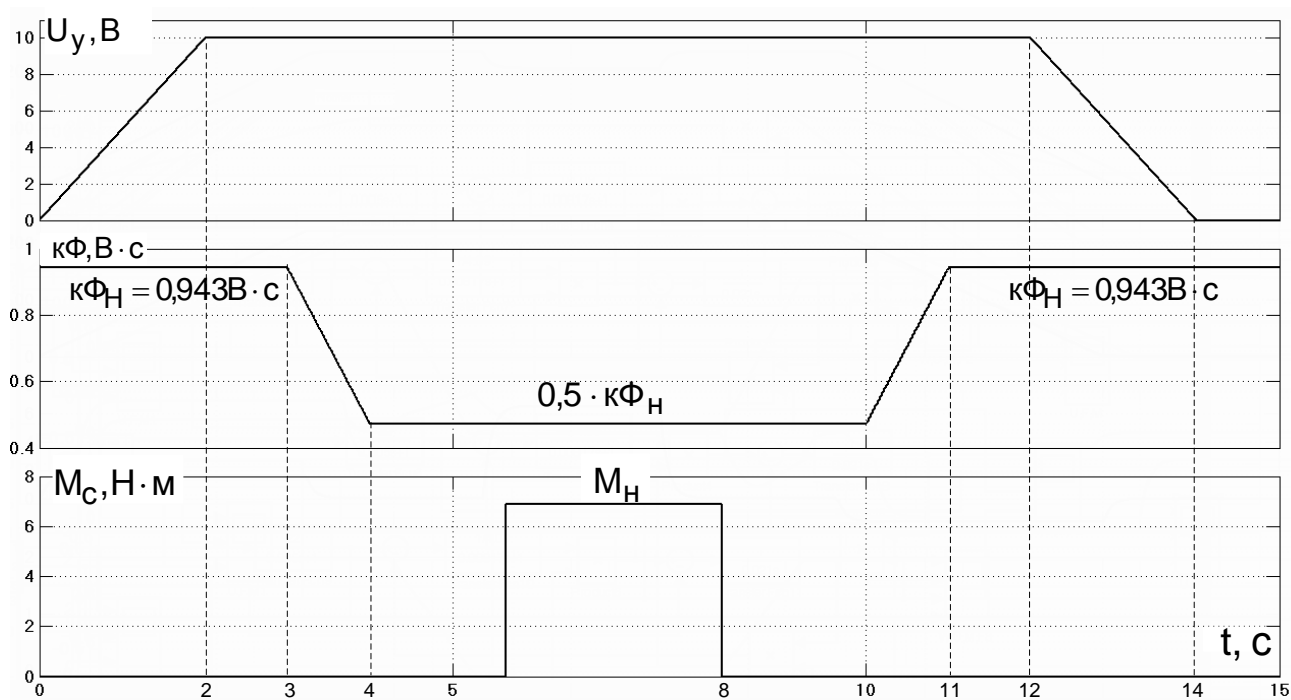


Рис. 2.34. Сигналы задания привода с ударным приложением статического момента с ослабленным магнитным потоком

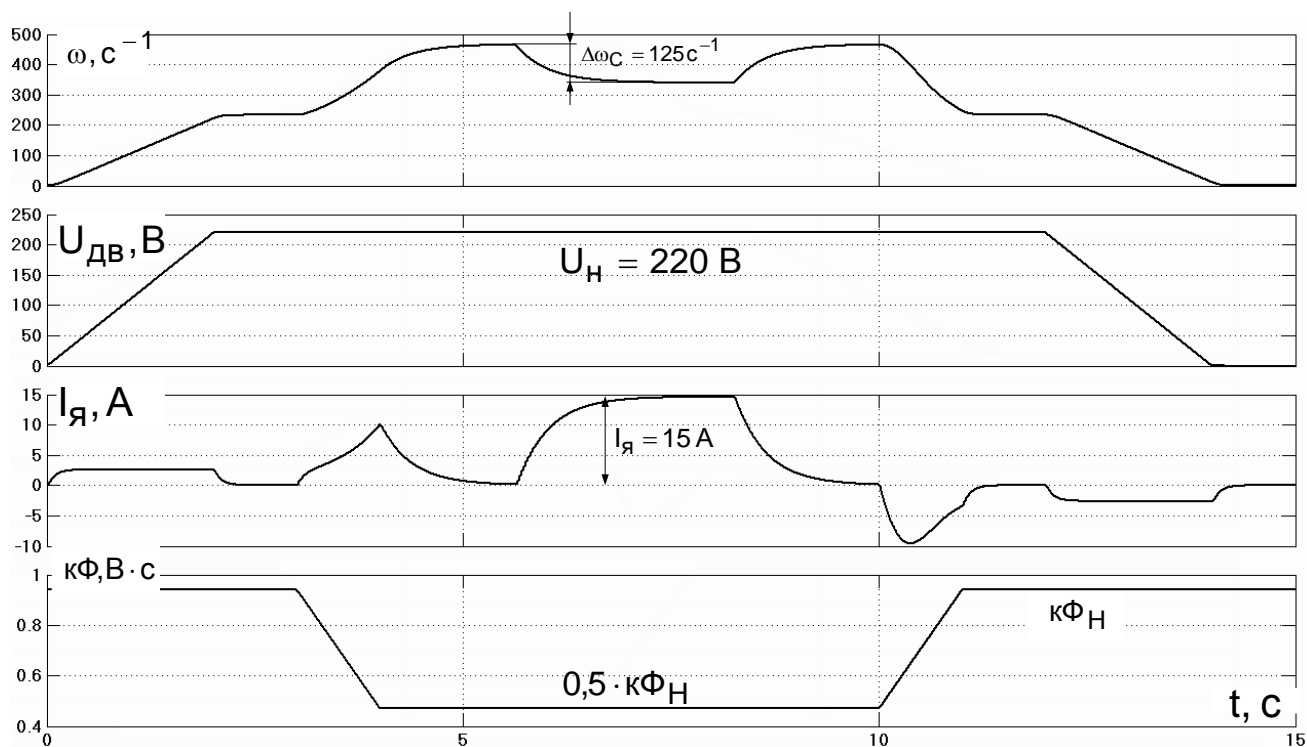


Рис. 2.35. Переходные процессы привода с ударным приложением статического момента во второй зоне

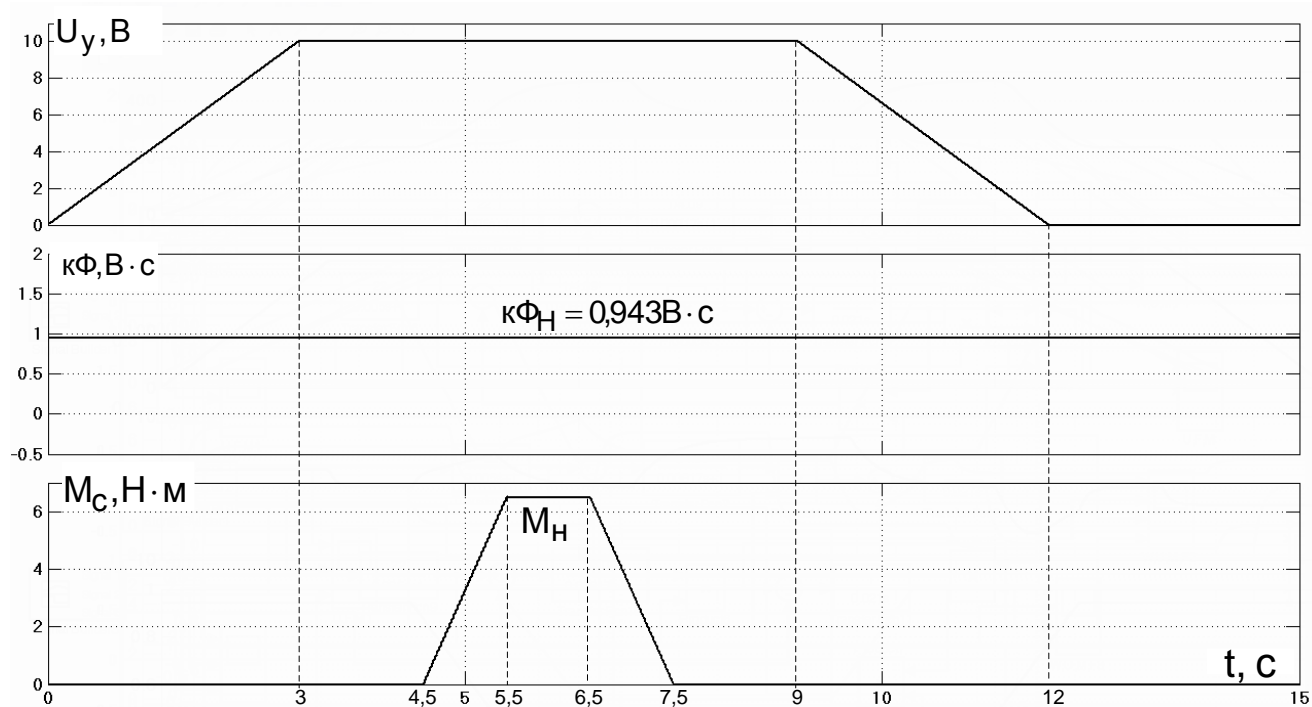


Рис. 2.36. Сигналы задания привода с линейным характером статического момента

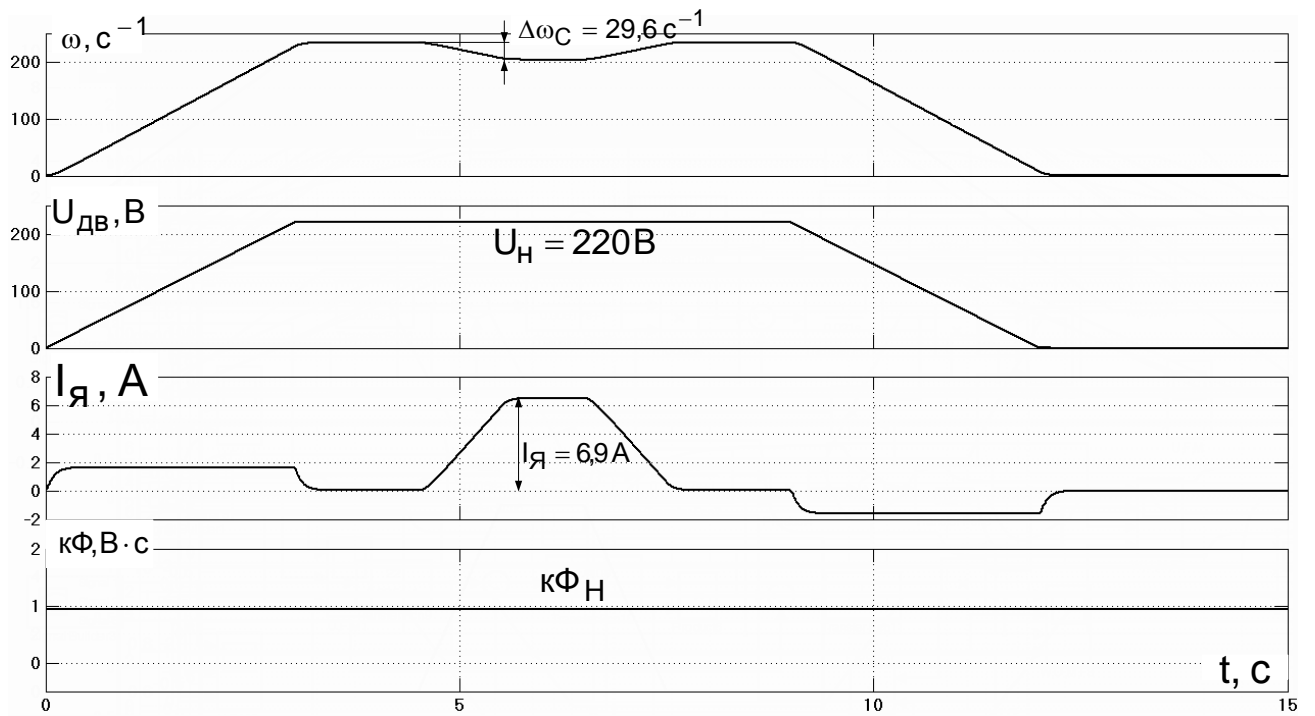


Рис. 2.37. Переходные процессы привода с линейным характером статического момента

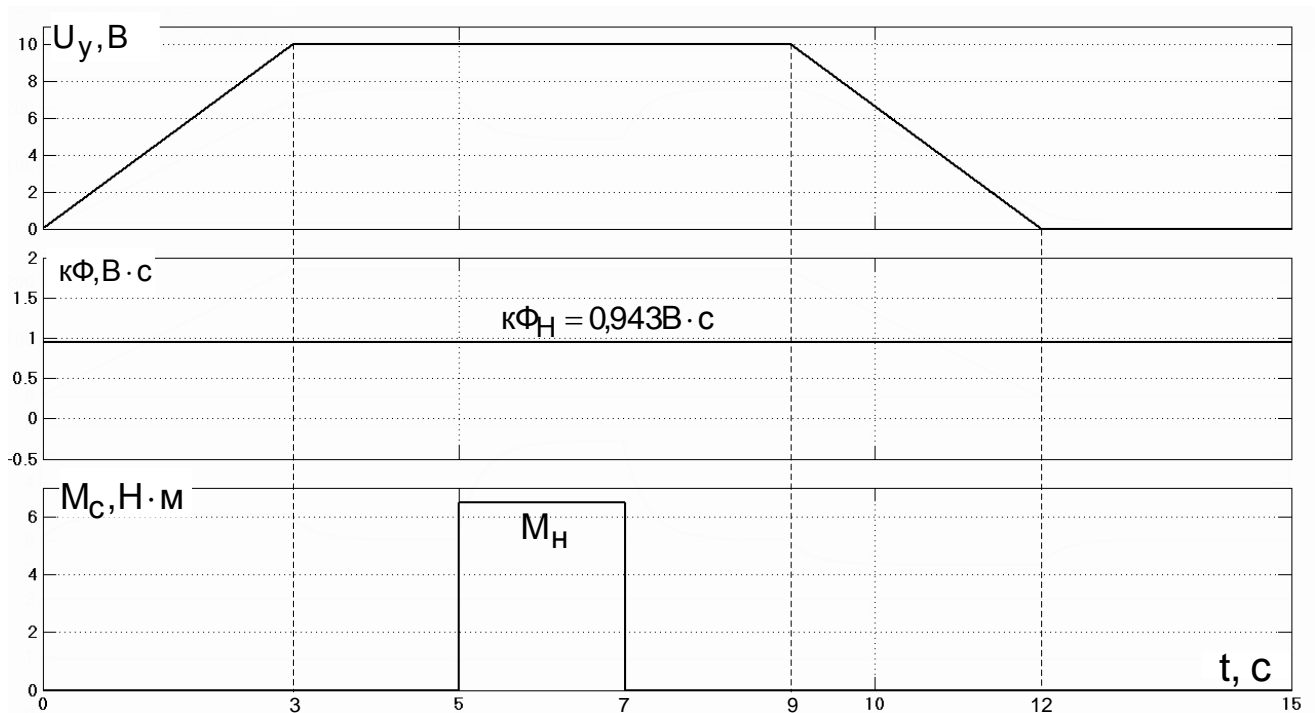


Рис. 2.38. Сигналы задания привода с ударным приложением статического момента и добавочным сопротивлением в якорной цепи $R_{\text{d}\Sigma} = R_{\text{d1}} + R_{\text{d2}} = 8 \text{Ом}$

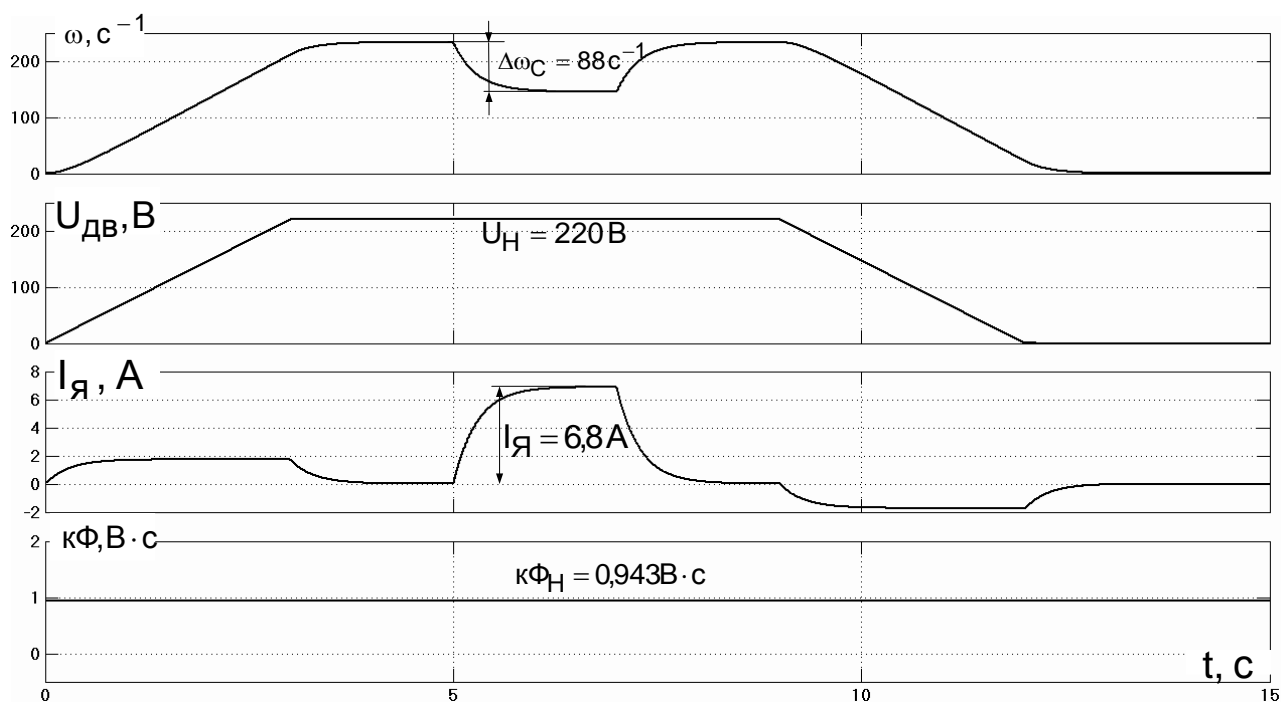


Рис. 2.39. Переходные процессы привода с ударным характером статического момента и добавочным сопротивлением в якорной цепи $R_{d\Sigma} = R_{d1} + R_{d2} = 8 \text{ Ом}$

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Нарисуйте семейство электромеханических характеристик разомкнутой системы ТП-Д для первой зоны регулирования скорости.
2. Каким образом введение добавочного сопротивления в цепь якоря двигателя влияет на динамику электропривода?
3. Нарисуйте и поясните электромеханические характеристики для разомкнутой двухзонной системы регулирования скорости ДПТ с НВ.
4. Как влияет ослабление магнитного потока на перегрузочную способность ДПТ?
5. Нарисуйте и поясните структурную схему разомкнутой двухзонной системы ТП-Д?
6. От каких параметров зависит динамическая составляющая якорного тока? Напишите формулу и поясните.
7. Каким звеном ТАУ можно описать тиристорный преобразователь?
8. Как рассчитать статическую просадку по скорости в первой зоне регулирования скорости ДПТ?
9. Как рассчитать статическую просадку по скорости во второй зоне регулирования скорости ДПТ?
10. Возможен ли пуск ДПТ напрямую от сети?
11. Почему темп разгона и торможения ДПТ по системы ТП-Д должен ограничиваться задатчиком интенсивности скорости?
12. Как изменится жесткость механической характеристики ДПТ, если подключить к нему тиристорный преобразователь и питающий сетевой трансформатор?
13. Нарисуйте и поясните механическую характеристику активного статического момента.
14. Нарисуйте и поясните механическую характеристику реактивного статического момента.
15. Нарисуйте принципиальную электрическую силовую схему реверсивной двухзонной системы ТП-Д.
16. Опишите процедуру снятия переходных процессов скорости, тока якоря и момента ДПТ на УЛС.

Приложение 4. Методические указания

Исследование электропривода постоянного тока в разомкнутой системе ТП-Д в динамических режимах

Цель работы: исследование переходных процессов электропривода постоянного тока с двигателем независимого возбуждения по системе ТП-Д.

Программа работы

1. Снятие переходных процессов по управляющему воздействию

1.1. Снятие переходных процессов $i_{\text{я}} = f(t)$, $n_{\text{дв}} = f(t)$ при разгоне до ($n_{\text{дв}} = 1000$ об/мин) и торможении двигателя до нуля от задатчика интенсивности.

1.2. Снятие переходных процессов $i_{\text{я}} = f(t)$, $n_{\text{дв}} = f(t)$ при динамичном ослаблении магнитного потока во время работы двигателя на скорости $n_{\text{дв}} = 1000$ об/мин.

2. Снятие переходных процессов по возмущающему воздействию

2.1. Снятие переходных процессов $i_{\text{я}} = f(t)$, $n_{\text{дв}} = f(t)$ при ударном приложении нагрузки к валу двигателя, работающего на скорости $n_{\text{дв}} = 1000$ об/мин с номинальным магнитным потоком $\Phi_{\text{дв}} = \Phi_{\text{H}}$.

2.2. Снятие переходных процессов $i_{\text{я}} = f(t)$, $n_{\text{дв}} = f(t)$ при ударном приложении нагрузки к валу двигателя, работающего на скорости $n_{\text{дв}} = 1000$ об/мин и при ослабленном магнитном потоке $\Phi_{\text{дв}} < \Phi_{\text{H}}$.

2.3. Снятие переходных процессов $i_{\text{я}} = f(t)$, $n_{\text{дв}} = f(t)$ при линейном приложении нагрузки к валу двигателя с номинальным магнитным потоком $\Phi_{\text{дв}} = \Phi_{\text{H}}$.

2.4. Снятие переходных процессов $i_{\text{я}} = f(t)$, $n_{\text{дв}} = f(t)$ при ударном приложении нагрузки к валу двигателя, работающего на скорости $n_{\text{дв}} = 1000$ об/мин с номинальным магнитным потоком $\Phi_{\text{дв}} = \Phi_{\text{H}}$ и добавочным сопротивлением в якорной цепи $R_{\text{дв}} = R_{\text{д1}} + R_{\text{д2}}$.

3. Моделирование системы ТП-Д

3.1. За моделировать в программе MatLab Simulink структурную схему системы ТП-Д лабораторной установки и снять переходные процессы по управляющему и возмущающему воздействию выше перечисленных экспериментов п. 1.1.-1.2. и п. 2.1-2.3.

3.2. Сравнить переходные процессы модели системы ТП-Д с экспериментальными, сделать выводы по работе.

4. Расчетная и графическая части

4.1. Рассчитать параметры структурной схемы системы ТП – Д (рис.) для моделирования переходных процессов по управляющему и возмущающему воздействию п. 3.1

4.2. Обработать графики переходных процессов, полученных экспериментально и при моделировании (подписать оси, сигналы, название эксперимента и т.д.).

Графики переходных процессов, а так же шкала осей должны хорошо просматриваться.

5. Порядок выполнения работы

5.1. Снятие переходных процессов по управляющему воздействию

5.1.1. До проведения экспериментов ознакомиться с электрооборудованием лабораторной установки, силовой схемой стенда.

5.1.2. Собрать силовую схему лабораторной установки, представленную на рис. 1.

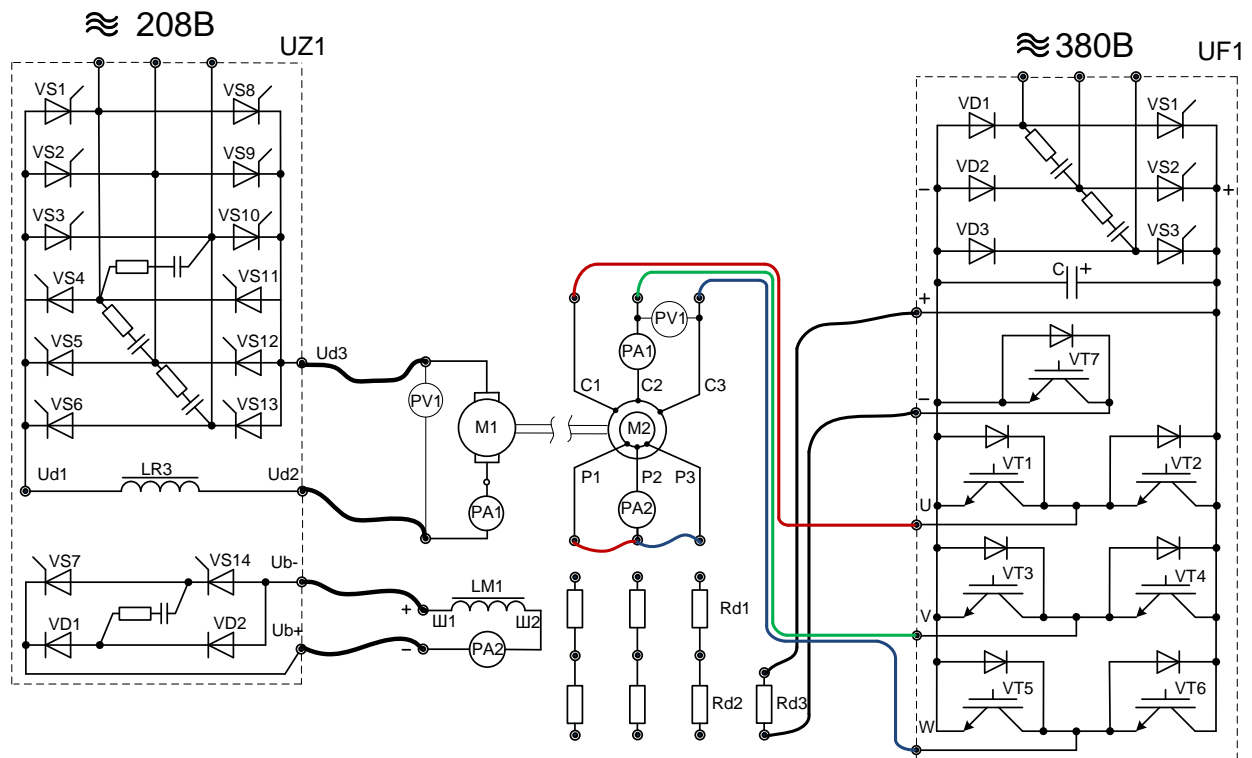


Рис. 1. Силовая схема для снятия переходных процессов $i_{\gamma} = f(t)$, $n_{\partial e} = f(t)$

В первом эксперименте необходимо разогнать двигатель М1 без нагрузки до скорости $n_{\partial e} = 1000$ об/мин, а затем остановить его до нулевой скорости по линейному закону. Исходя из этого, асинхронный двигатель и преобразователь частоты будет обесточен - КМ2 отключен.

После того, как схема собрана, необходимо настроить электроприводы для эксперимента.

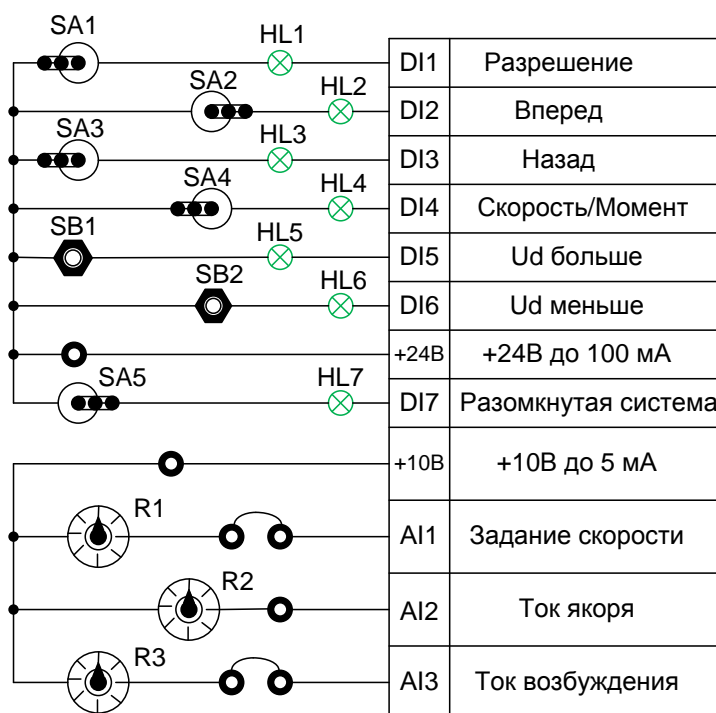


Рис. 2. Панель команд тиристорного преобразователя UZ1

5.1.3. Двигатель М1 будет управляться тиристорным преобразователем в разомкнутой системе, для чего на панели команд (рис. 2) установить тумблер SA5 в правое положение «Разомкнутая система», SA4 в левое положение «Скорость».

5.1.4. Тумблер SA2 установить в правое положение для задания направления вращения «Вперед», а SA3 в левое положение «Назад».

5.1.5. Включить питание стенда последовательно кнопками «Пуск» контакторов КМ, КМ1.

5.1.6. Включить питание двухканального осциллографа. Подключить на первый канал осциллографа координату тока якоря, а на второй – координату частоты вращения двигателя М1. Подготовить осциллограф для сохранения переходных процессов в его внутреннюю память.

5.1.7. Включить тумблер SA1 вправо на тиристорном преобразователе, тем самым, разрешив подачу импульсов на силовые ключи.

5.1.8. Соппротивлением R3 выставить номинальный ток возбуждения двигателя М1, $i_{BH} = 0,58$ (А).

5.1.9. Разогнать двигатель М1 до скорости 1000 об/мин, удерживанием кнопки SB1 (Ud больше). После того, как скорость двигателя установится на 1000 об/мин, уменьшить задание напряжения Ud кнопкой SB2 до нуля.

ВНИМАНИЕ! Темп увеличения (уменьшения) напряжения Ud запрограммирован задатчиком интенсивности ТП, поэтому необходимо просто удерживать кнопки SB1 (SB2).

5.1.10. Сохранить переходные процессы $i_{я} = f(t)$, $n_{\omega} = f(t)$ из памяти осциллографа на компьютер в виде картинок в формате .tif либо .jpg.

5.1.11. Во втором эксперименте нужно разогнать двигатель М1 до скорости 1000 об/мин и, как только скорость двигателя установится на уровне 1000 об/мин, уменьшить ток возбуждения в 2 раза (потенциометром R3, $i_{BH} = 0,29$ А). После того, как скорость двигателя установится, произвести обратную процедуру остановки двигателя: увеличить поток двигателя до номинального $i_{BH} = 0,58$ А, затем, удерживая кнопку SB2 уменьшить напряжение ТП до нуля.

5.1.12. Сохранить переходные процессы $i_{\text{я}} = f(t)$, $n_{\text{ог}} = f(t)$ из памяти осциллографа на компьютер в виде картинок в формате .tif либо .jpg.

5.2. Снятие переходных процессов по возмущающему воздействию

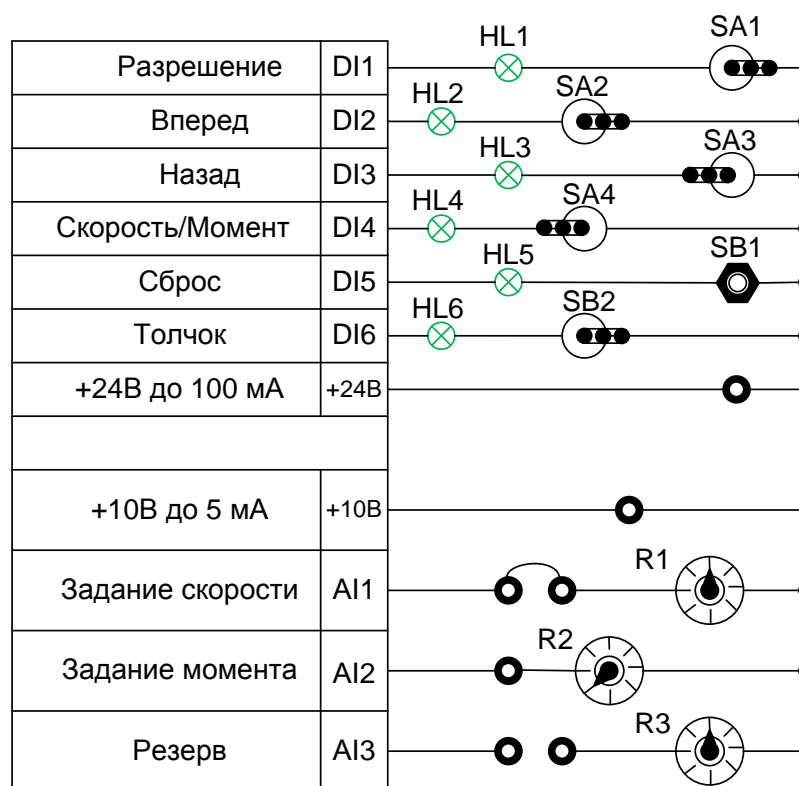


Рис. 3. Панель команд частотного преобразователя UF1

5.2.1. В третьем эксперименте электропривод нагрузочной машины АД нужно настроить для создания момента. Для этого, на панели команд частотного преобразователя (рис. 3) установить тумблер SA4 в левое положение «Момент».

5.2.2. Тумблер SA3 установить в левое положение для задания направления «Назад», а SA2 «Вперед» - в правое положение.

5.2.3. Потенциометром R2 установить некоторое начальное задание момента машины M2 (задаётся преподавателем).

5.2.4. Включить питание частотного преобразователя кнопкой «Пуск» контактора KM2.

5.2.5. Соппротивлением R3 выставить номинальный ток возбуждения двигателя M1, $i_{\text{BH}} = 0,58$ (A).

5.2.6. Разогнать двигатель M1 до скорости 1000 об/мин, удерживанием кнопки SB1 (U_d больше). После того, как скорость двигателя установится на 1000 об/мин, включить тумблер SA1 частотного преобразователя на **несколько секунд**, в результате чего, скачком будет подан статический момент на вал двигателя M1.

После отключения тумблера SA1 уменьшить задание напряжения U_d кнопкой SB2 до нуля.

5.2.7. Сохранить переходные процессы $i_{\text{я}} = f(t)$, $n_{\text{ог}} = f(t)$ из памяти осциллографа на компьютер в виде картинок в формате .tif либо .jpg.

5.2.8. В четвертом эксперименте необходимо снять переходные процессы $i_{\text{я}} = f(t)$, $n_{\text{ог}} = f(t)$ при набросе скачкообразной нагрузки на вал двигателя M1 с ослабленным магнитным потоком.

Для этого нужно разогнать двигатель М1 до скорости 1000 об/мин и, как только скорость двигателя установится на уровне 1000 об/мин, уменьшить ток возбуждения в 2 раза (потенциометром R3, $i_{BH} = 0,29$ А). После того, как скорость двигателя установится, включить тумблер SA1 частотного преобразователя на **несколько секунд**, в результате чего, скачком будет подан статический момент на вал двигателя М1. После отключения тумблера SA1 увеличить поток двигателя до номинального $i_{BH} = 0,58$ А, затем, уменьшить задание напряжения Ud кнопкой SB2 до нуля.

5.2.9. Сохранить переходные процессы $i_{я} = f(t)$, $n_{\text{об}} = f(t)$ из памяти осциллографа на компьютер в виде картинок в формате .tif либо .jpg.

5.2.10. Пятый эксперимент предполагает линейное приложение статической нагрузки к валу двигателя на скорости 1000 об/мин.

5.2.11. Соппротивлением R3 тиристорного преобразователя выставить номинальный ток возбуждения двигателя М1, $i_{BH} = 0,58$ (А).

5.2.12. Потенциометр R2 частотного преобразователя установить в крайнее левое положение до упора, при этом начальное задание на момент АД будет равным нулю. Затем включить тумблер SA1 влево.

5.2.13. Разогнать двигатель М1 до скорости 1000 об/мин, удерживанием кнопки SB1 (Ud больше). После того, как скорость двигателя установится на 1000 об/мин, плавно увеличить статический момент на валу двигателя М1 сопротивлением R2 частотного преобразователя, затем плавно его уменьшить.

5.2.14. Уменьшить задание напряжения Ud кнопкой SB2 до нуля.

5.2.15. Сохранить переходные процессы $i_{я} = f(t)$, $n_{\text{об}} = f(t)$ из памяти осциллографа на компьютер в виде картинок в формате .tif либо .jpg.

5.2.16. Снять разрешение на подачу управляющих импульсов на силовые ключи частотного (тумблер SA1 - вправо) и тиристорного преобразователей (тумблер SA1 - влево).

5.2.17. Выключить питание стенда кнопкой «Стоп» контактора КМ.

5.2.18. Собрать силовую схему лабораторной установки, представленную на рис. 1.

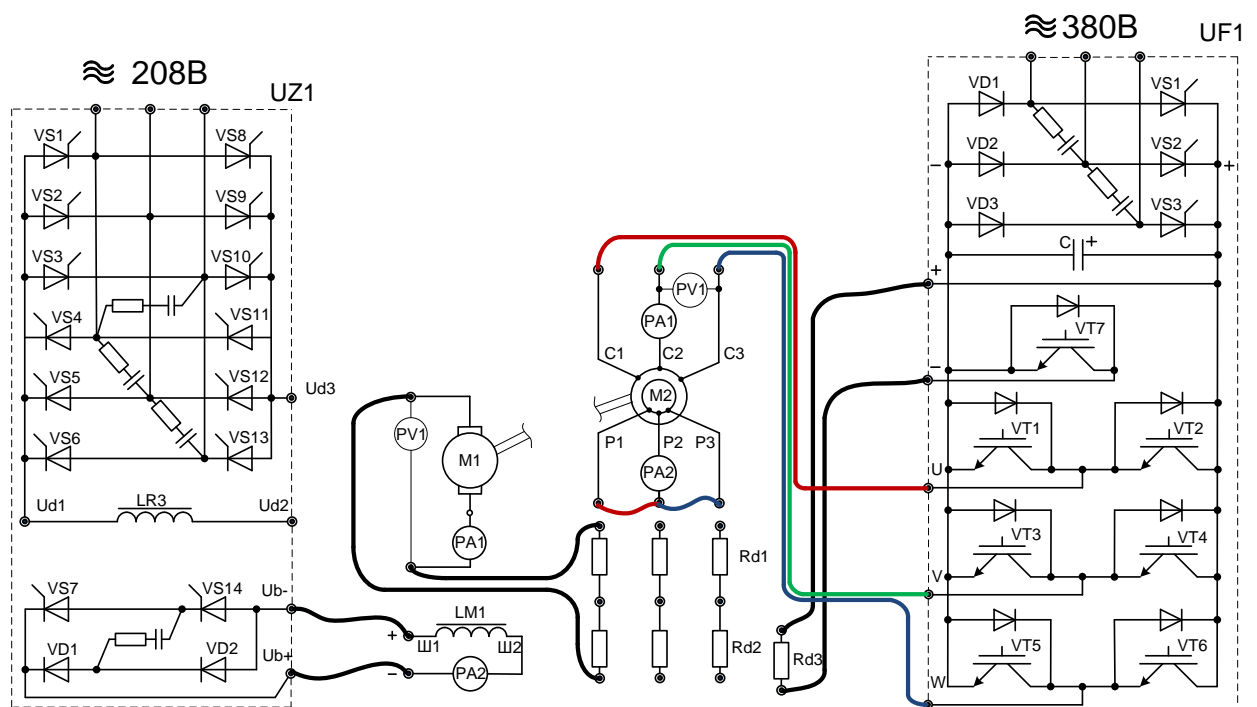


Рис. 1. Силовая схема для снятия переходных процессов $i_{я} = f(t)$, $n_{о\sigma} = f(t)$ с добавочным сопротивлением в якорной цепи $R_{d\Sigma} = R_{d1} + R_{d2}$

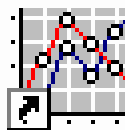
5.2.19. Снять переходные процессы $i_{я} = f(t)$, $n_{о\sigma} = f(t)$ с добавочным сопротивлением в якорной цепи $R_{d\Sigma} = R_{d1} + R_{d2}$, руководствуясь п. 5.2.1. – 5.2.7.

5.3. Экспериментально-исследовательская часть

5.3.1. Подготовка осциллографа OWON PDS 5022S к работе

В данном разделе авторами учебного пособия представлены результаты экспериментальных исследований разомкнутой двухзонной системы ТП-Д.

Переходные процессы фиксируются двухканальным осциллографом марки OWON PDS 5022S с внутренней постоянной флеш-памятью. Массивы данных с осциллографа можно передавать на персональный компьютер посредством USB соединения. Для этого необходимо предварительно установить на компьютер драйвер устройства и программу OWON_Oscilloscope_2.0.8.17_Setup. После установки драйвера на рабочем столе появится ярлык запуска осциллографа, (рис.).



Oscilloscope

Рис.

После запуска программного осциллографа необходимо подключить USB кабель, соединяющий осциллограф и персональный компьютер. Индикатор соединения в правом нижнем углу окна «automatically check USB» должен стать зелёного цвета (рис.).

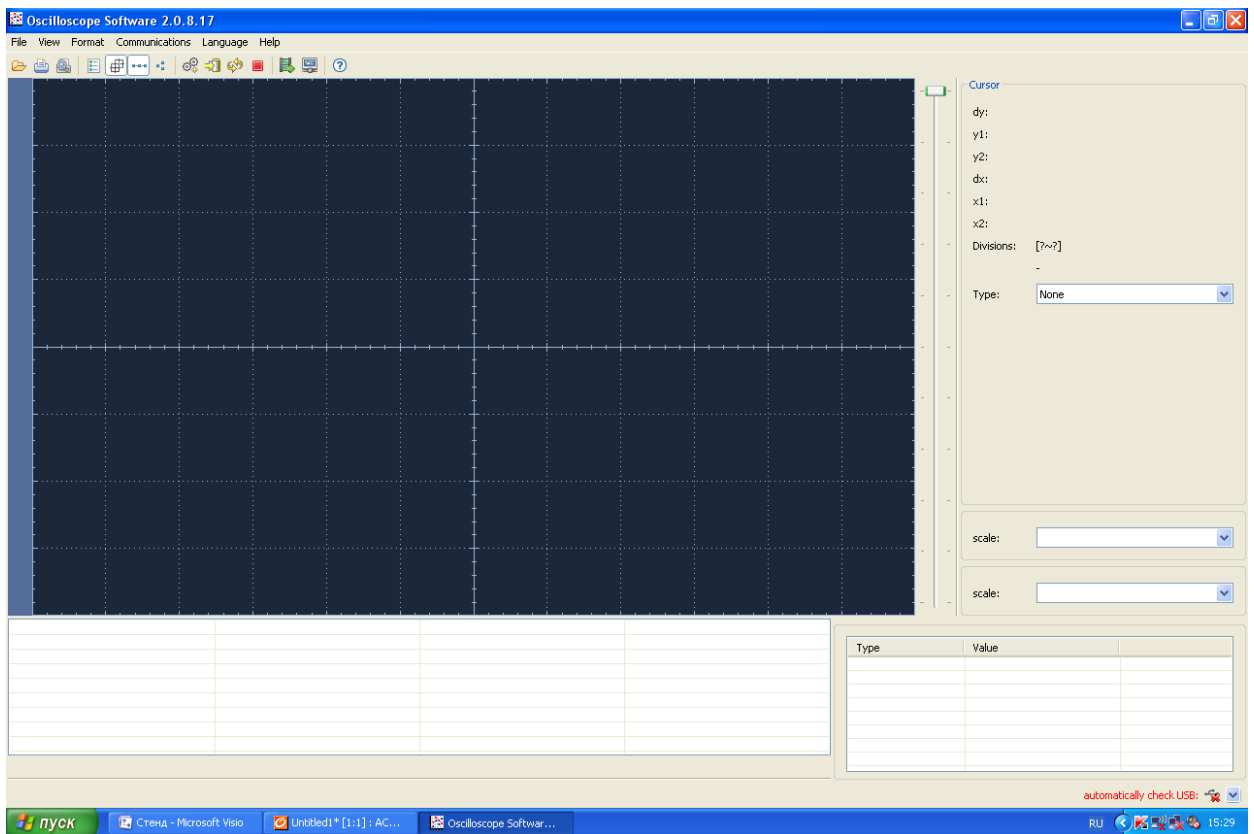


Рис.

Если автоматического определения осциллографа не произошло, то нужно переустановить драйвер соединения, нажав в правом нижнем углу программы «Reinstall USB Driver», (рис.).

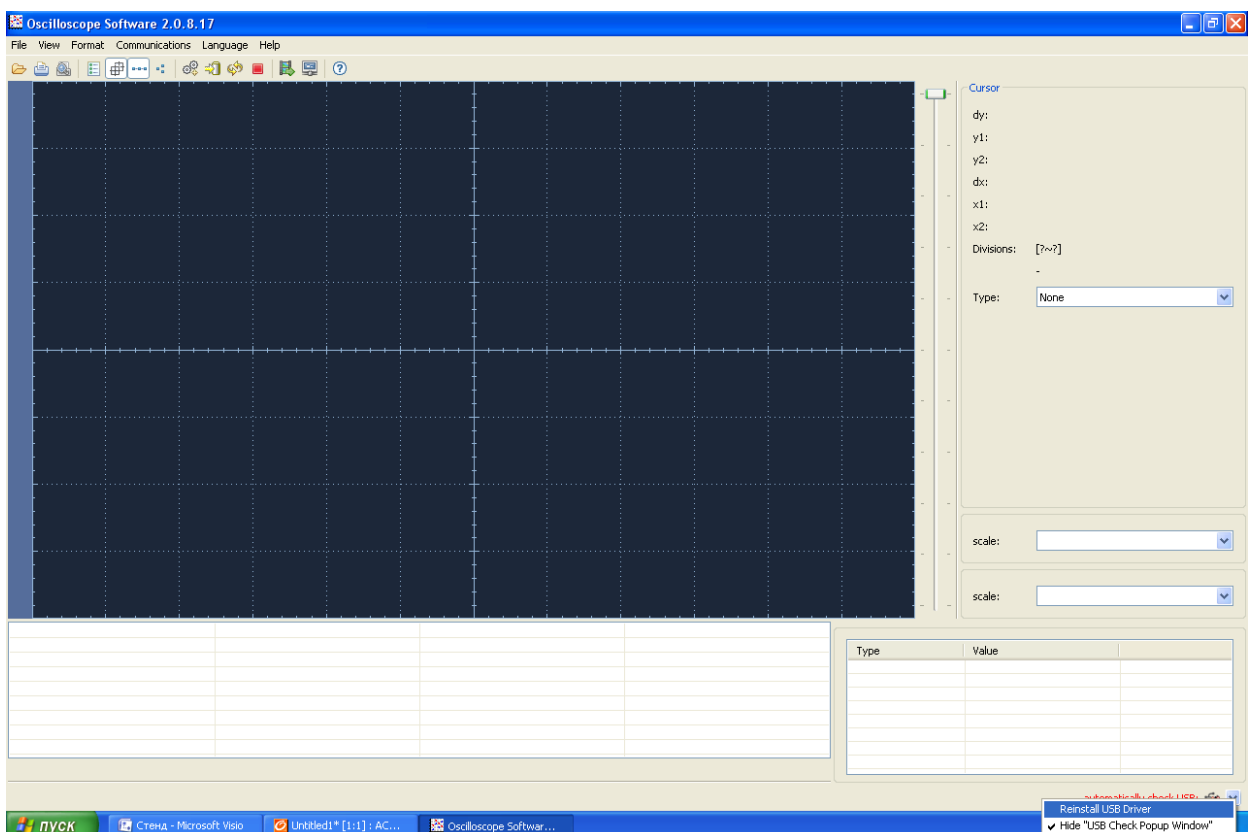



Рис.

Далее необходимо настроить разрешение осциллографа, нажав кнопку  и указав время опроса «Keep Getting Delay (ms)» в окне настроек, (рис.).

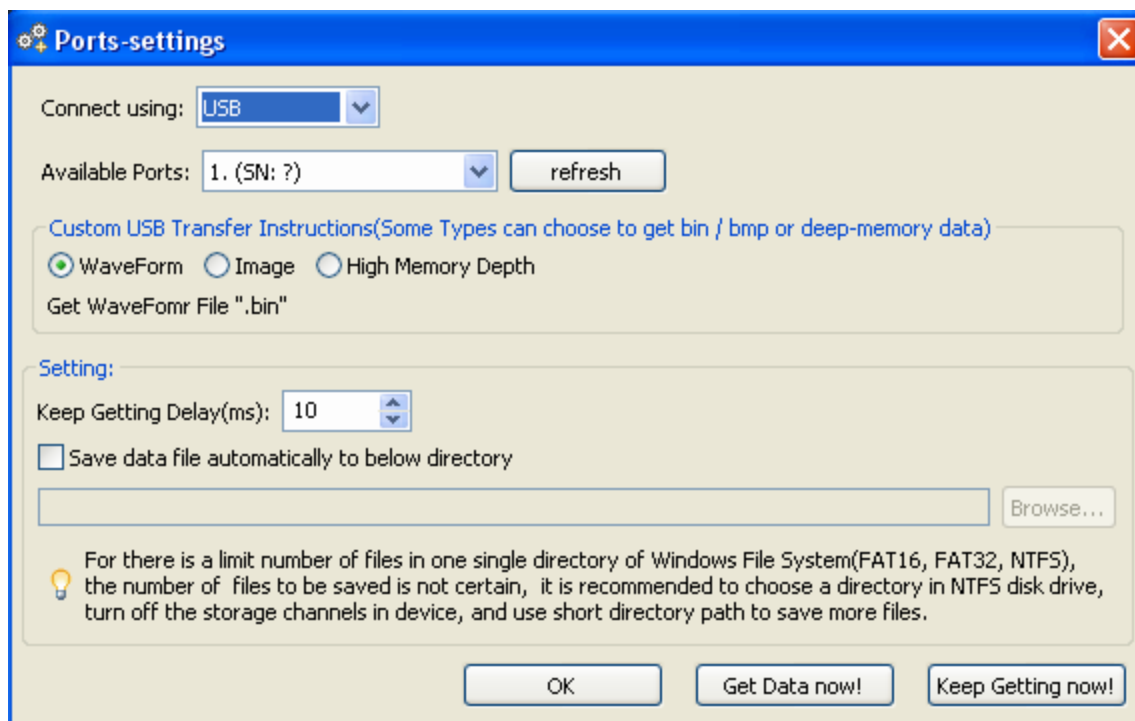





Рис.

Переходные процессы с реального осциллографа можно снимать несколькими способами:

- непрерывный - в режиме Online, кнопка ;
- одиночный - в режиме Online .

При непрерывном способе файлы с переходными процессами будут множиться пропорционально величине времени эксперимента. Одиночный способ съёма удобен тем, что весь переходный процесс сохранится одним файлом (массив, либо картинка).

Перед началом эксперимента нажмите кнопку , появится окно «Get Data», (рис.). Проведите эксперимент и нажмите кнопку «Start», в окне программного осциллографа появятся переходные процессы.

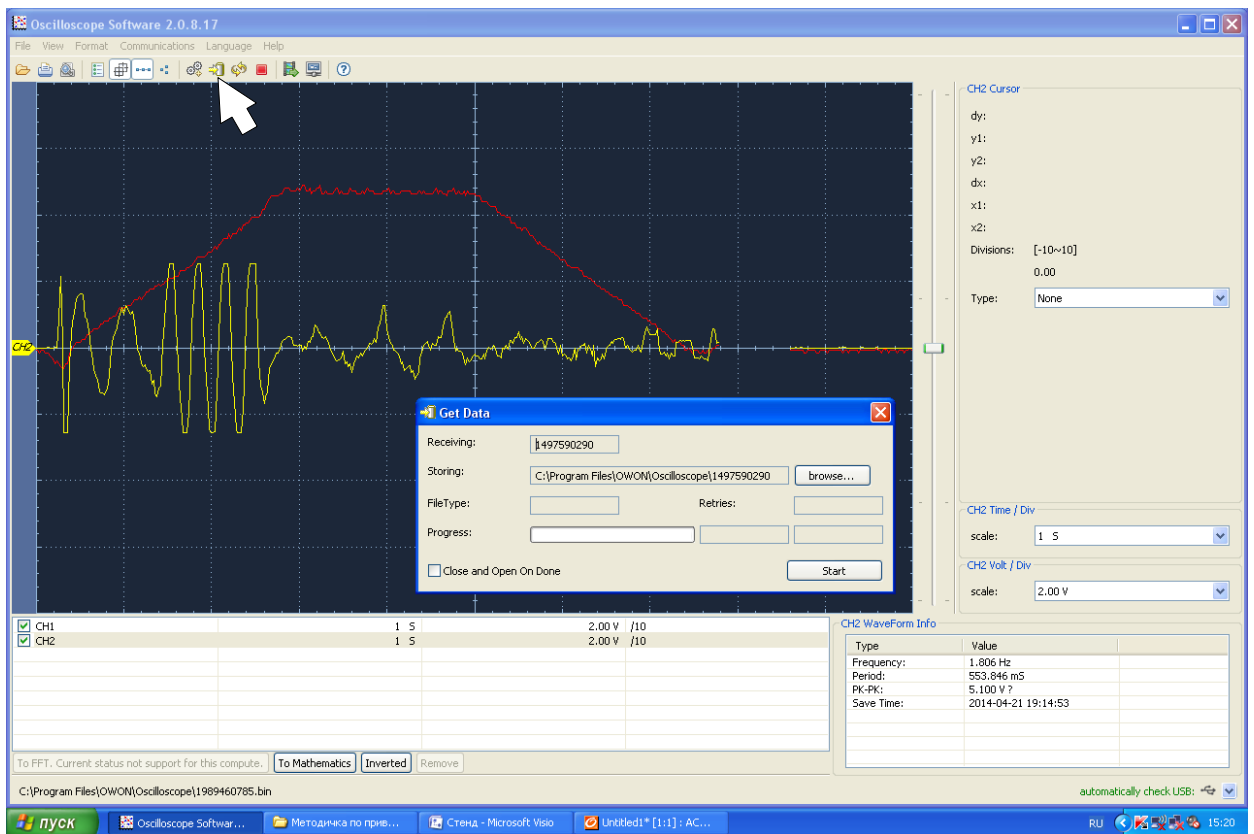


Рис.

Осциллограммы можно сохранить в виде картинки, но гораздо удобнее – массивом данных. Для этого, в меню «View» выбрать вкладку «Data table» - «Save As», (рис.). Сохраняя файл, выберете для него расширение .xls. Затем в программе Excel обработайте графики.

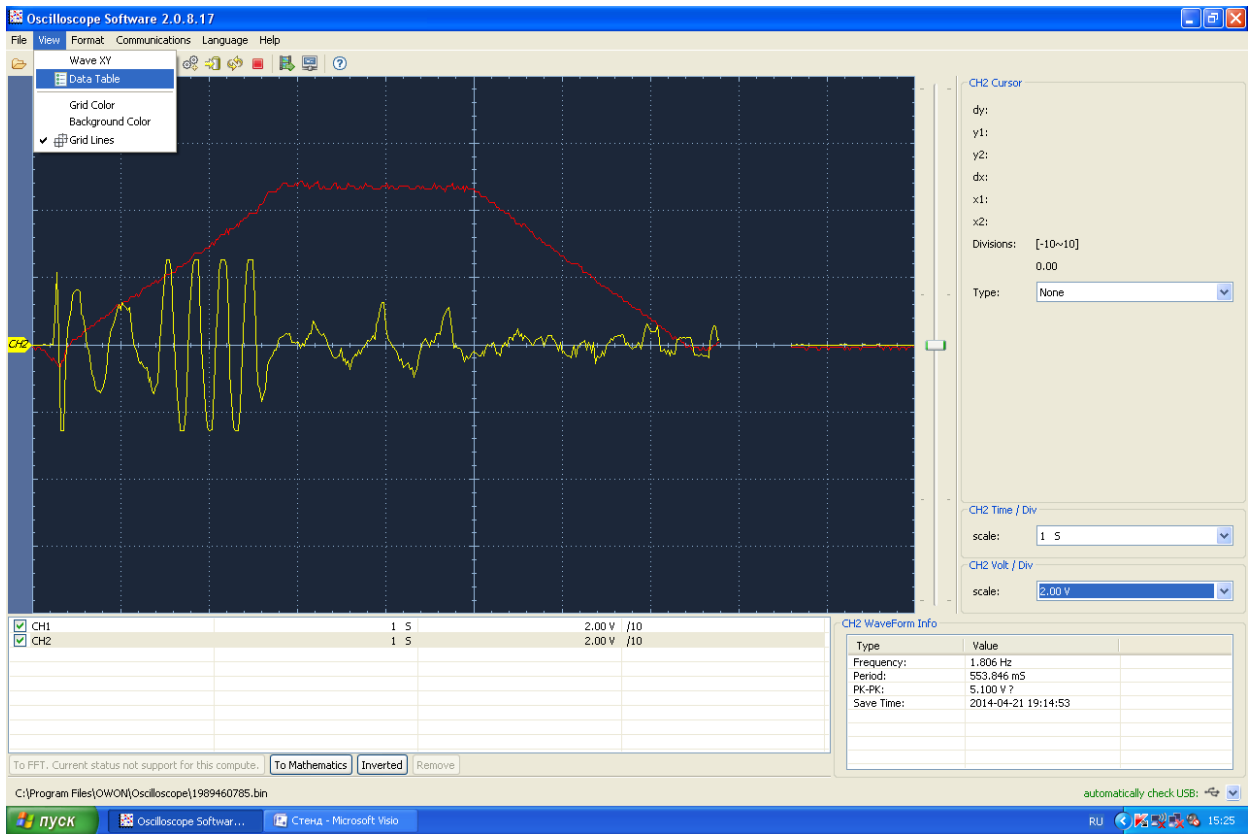


Рис.

The screenshot shows the Data Table window. The table has columns for CH1/10 and CH2/10. The Save panel on the right includes checkboxes for sequence, CH1, and CH2, and buttons for Save As..., Exit, and navigation arrows.

Select	CH1/10	CH2/10
1	-80.00	0.00
2	-80.00	0.00
3	-160.00	0.00
4	-80.00	0.00
5	-80.00	0.00
6	-160.00	0.00
7	-160.00	0.00
8	-160.00	20.00
9	-240.00	0.00
10	-320.00	0.00
11	-400.00	0.00
12	-480.00	20.00
13	-400.00	0.00
14	-480.00	860.00
15	-560.00	2140.00
16	-640.00	140.00
17	-640.00	-2560.00
18	-480.00	-2560.00
19	-480.00	-2560.00
20	-160.00	-520.00
21	-80.00	440.00
22	0.00	780.00
23	80.00	1080.00
24	160.00	1480.00
25	160.00	1560.00
26	160.00	1620.00
27	240.00	1620.00

Рис.

В первом эксперименте ДПТ работает в первой зоне и разгоняется от ЗИ за 1 секунду. В момент времени $t_1 = 1,5$ с, АД создает на валу ДПТ ударную нагрузку, (рис.).

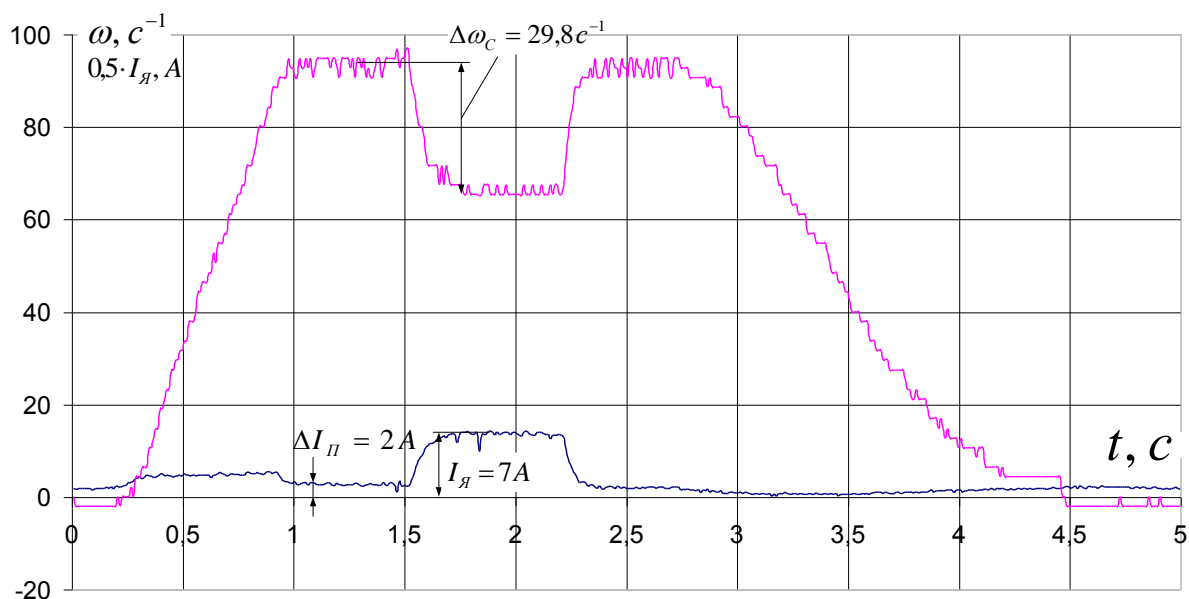


Рис. . Разгон и торможение ДПТ со скачкообразной статической нагрузкой

Во втором эксперименте в цепь якоря вводится добавочное сопротивление $R_{d\Sigma} = R_{d1} + R_{d2} = 8$ Ом. Оценивая динамику переходных процессов (рис. и), можно сделать вывод, что добавочное сопротивление якоря вводит дополнительную инерцию по току и скорости. Привод менее динамичен, переходные процессы затянуты во времени в 2 раза. ЗИ привода работает в режиме слежения, т.к. динамического момента (тока) двигателя не достаточно, чтобы отработать заданный темп разгона и торможения. Статическая просадка по скорости пропорциональна добавочному сопротивлению якоря.

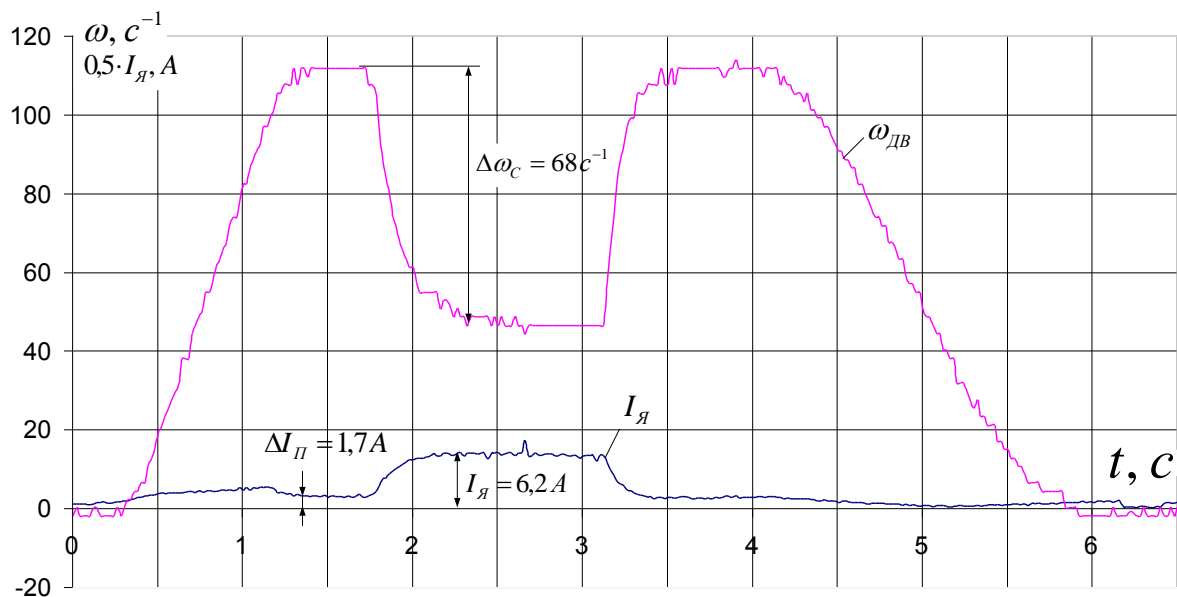


Рис. . Разгон и торможение ДПТ со скачкообразной статической нагрузкой и добавочным сопротивлением в роторной цепи $R_d = 8$ Ом

Третий эксперимент отражает динамику привода постоянного тока при ослабленном магнитном потоке, (рис.). До момента времени 0,9 с, двигатель разгоняется линейно от 3И и работает в первой зоне регулирования скорости. До момента 1,7 с, происходит ослабление магнитного потока в 2 раза. В момент времени 2 с, к валу ДПТ прикладывается номинальная ударная нагрузка, что вызывает значительную просадку по скорости $\Delta\omega_c = 53\text{ c}^{-1}$ и увеличение тока якоря выше номинального значения в 2 раза. Увеличением тока якоря во второй зоне привод компенсирует электромагнитный момент на валу. Уменьшение магнитного потока ослабляет механическую характеристику ДПТ, тем самым, время переходных процессов тока и скорости увеличивается в 2 раза, динамика ухудшается.

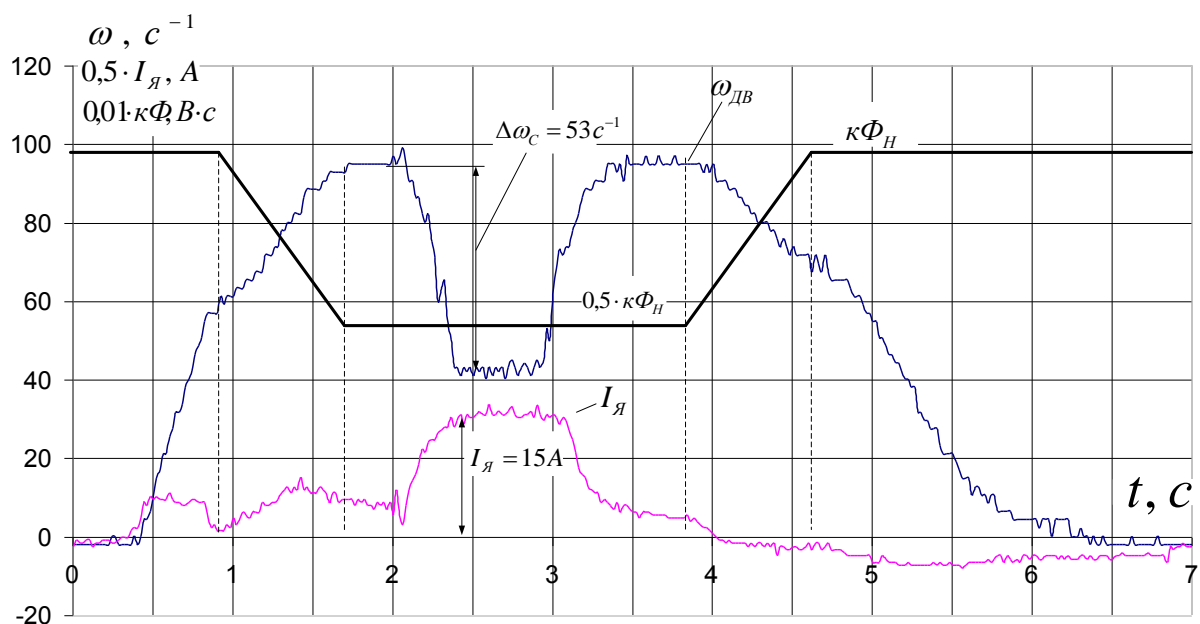


Рис. . Разгон и торможение ДПТ с ослабленным потоком со скачкообразной статической нагрузкой.

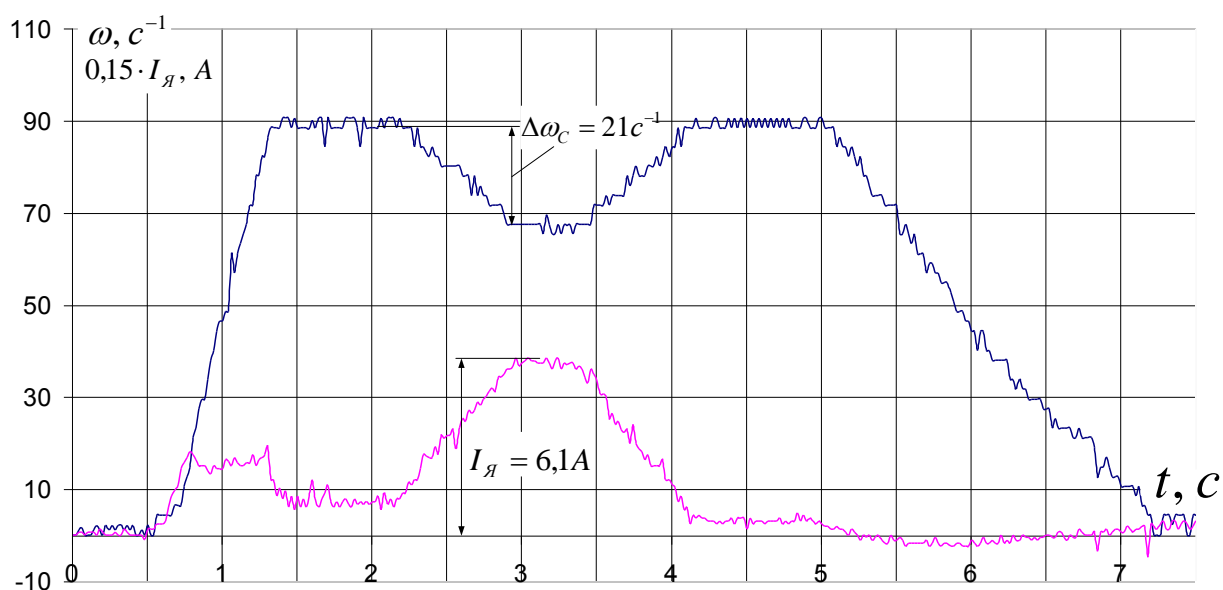


Рис. . Разгон и торможение ДПТ с линейной статической нагрузкой

Четвёртый эксперимент отражает возможность УЛС задавать момент на валу исследуемого привода по линейному (нелинейному) закону во времени, (рис.). В данном случае, с момента времени 2 с, к валу ДПТ прикладывается линейный статический момент. Линейный закон статического момента подаётся в виде аналогового сигнала на вход задания момента привода АД потенциометром R2 (рис. 3).

6. Методические указания к расчетной части

В разделе визуального моделирования авторы статьи постарались максимально точно воссоздать двухзонную систему ТП-Д УЛС в компьютерной модели. Это позволит студентам, выполняющим лабораторные работы, проводить сравнительный анализ динамики экспериментальных и виртуальных переходных процессов, что помогает им лучше усваивать учебный материал.

Моделирование переходных процессов системы ТП-Д в программе MatLab Simulink возможно с помощью структурной схемы, представленной на рис.

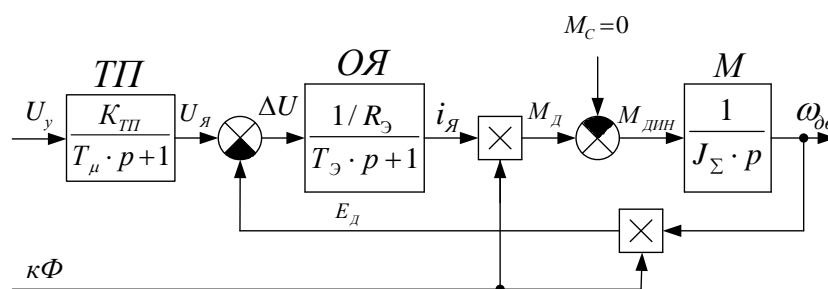


Рис. Структурная схема системы ТП - Д

Тиристорный преобразователь ТП моделируется апериодическим звеном первого порядка с постоянной времени T_μ и коэффициентом тиристорного преобразователя

$$K_{ТП} = \frac{U_{яН}}{U_{yH}},$$

где $U_{яН} = 220$ В – номинальное напряжение якоря ДПТ;

$U_{yH} = 10$ В – номинальное напряжение управления ТП;

$T_\mu = 0,005$ с – некомпенсированная постоянная времени ТП.

Обмотка якорной цепи ОЯ описывается инерционным звеном

$$W(p) = \frac{1/R_\varepsilon}{T_\varepsilon \cdot p + 1},$$

где $R_\varepsilon = R_{\Sigma Я 80^\circ C} + a_B \left(R_T + \frac{m \cdot x_T}{2\pi} \right)$;

$R_{\Sigma Я 80^\circ C} = 1,24(R_{Я 20^\circ C} + R_{CD 20^\circ C})$ - суммарное омическое сопротивление якорной цепи при 20° С;

$R_{Я 20^\circ C}$ - омическое сопротивление якорной обмотки при 20° С;

$R_{CD 20^\circ C}$ - омическое сопротивление сглаживающего дросселя в цепи якоря;

$a_B = 2$ - коэффициент трехфазной мостовой схемы выпрямления ТП;

$R_T = \frac{U_H^2}{S_H^2} \cdot \Delta P_K$ - активное сопротивление фазы трансформатора;

$m = 3$ - число фаз питающей сети;

$x_T = 2\pi f_c L_m$ - индуктивное сопротивление фазы трансформатора;

L_m - индуктивность фазы трансформатора;

f_c - частота питающей сети.

Постоянная времени якорной цепи

$$T_{\Sigma} = \frac{L_{\Sigma}}{R_{\Sigma}},$$

где $L_{\Sigma} = L_{\text{я}} + a_B \cdot L_m$;

$L_{\text{я}}$ - индуктивность обмотки якоря.

Передаточная функция, описывающая механическую инерцию якоря, представлена интегрирующим звеном

$$W(p) = \frac{1}{J_{\Sigma} \cdot p},$$

где J_{Σ} - суммарный момент инерции двигательного агрегата М1 - М2, связанный ремённой передачей.

Номинальный поток двигателя можно рассчитать по формуле

$$\kappa\Phi_H = \frac{U_H - I_H \cdot R_{\text{я}80^{\circ}\text{C}}}{\omega_H},$$

где $\omega_H = 0,1047 \cdot n_H$ - номинальная угловая скорость двигателя в рад/с;

n_H - номинальная частота вращения двигателя в об/мин;

I_H - номинальный ток якоря двигателя.

Номинальный момент двигателя рассчитывается по формуле

$$M_H = \kappa\Phi_H \cdot I_H.$$

Первый эксперимент в программе MatLab Simulink предполагает исследование переходных процессов $U_{\text{я}} = f(t)$, $i_{\text{я}} = f(t)$, $\omega_{\text{дв}} = f(t)$ системы ТП-Д при пуске двигателя от задатчика интенсивности, работе двигателя в статическом режиме с последующим торможением от задатчика интенсивности. Управляющим воздействием системы ТП-Д в данном случае является напряжение управления ТП.

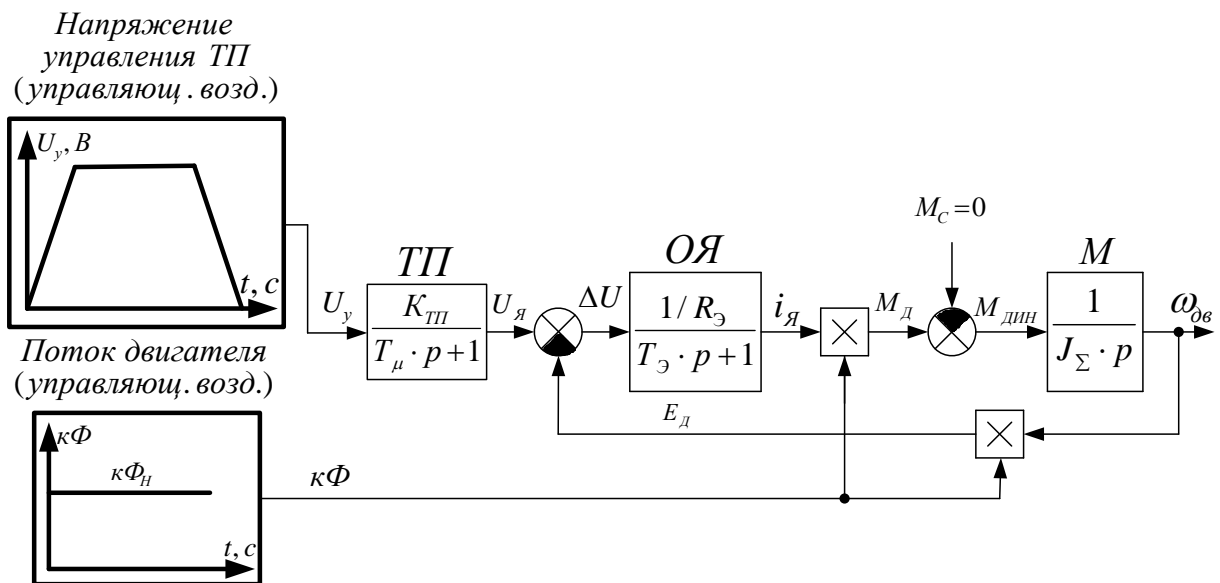


Рис. Разгон и торможение двигателя на х/х

На рис. представлены параметры управляющих сигналов напряжения управления ТП и номинального потока двигателя.

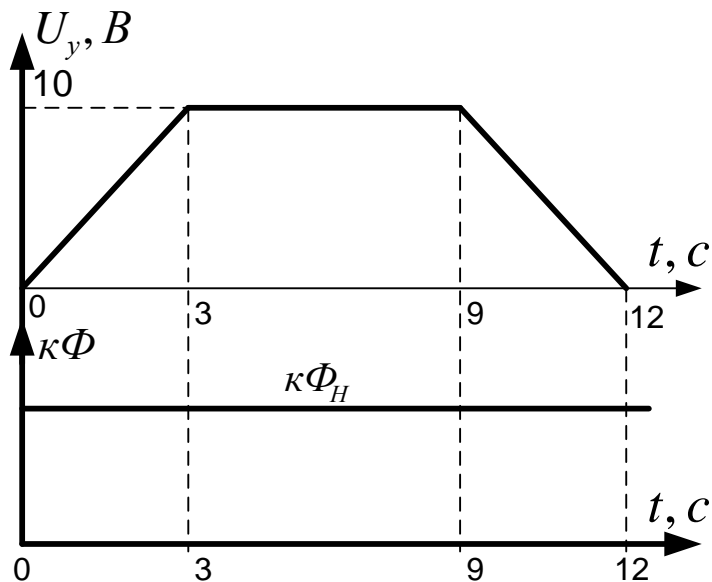


Рис. Управляющие сигналы напряжения управления ТП и номинального потока двигателя

Во втором эксперименте в программе MatLab Simulink нужно исследовать переходные процессы $U_{я} = f(t)$, $i_{я} = f(t)$, $\omega_{об} = f(t)$ при скачкообразном ослаблении потока у работающего двигателя. Управляющим воздействием системы ТП-Д в данном случае является напряжение управления ТП и поток двигателя, который ослабляется скачком в 2 раза во время работы двигателя при номинальной скорости.

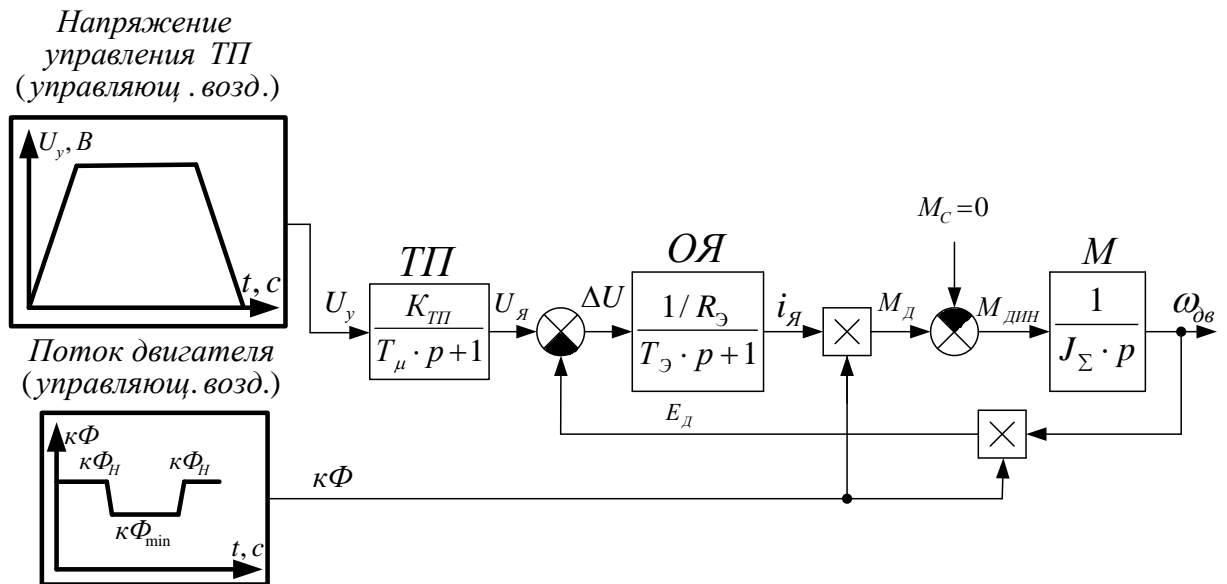


Рис. Разгон и торможение двигателя на х/х при ослабленном магнитном потоке

На рис. представлены параметры управляющих сигналов напряжения управления ТП и потока двигателя при ослаблении потока до $0,5 \cdot k\Phi_H$.

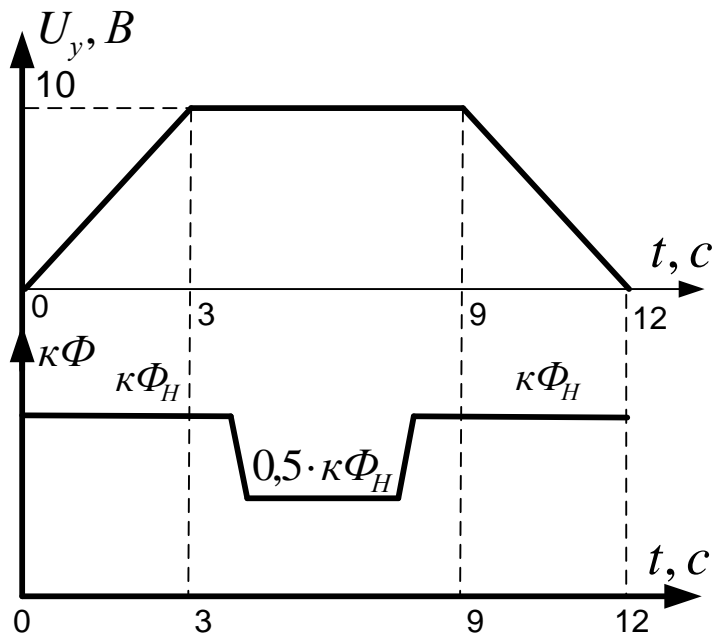


Рис. Управляющие сигналы напряжения управления ТП и номинального потока двигателя при ослаблении потока до $0,5 \cdot k\Phi_H$

В третьем эксперименте необходимо получить переходные процессы $U_{я} = f(t)$, $i_{я} = f(t)$, $\omega_{об} = f(t)$ при скачкообразном приложении номинального статического момента к валу двигателя, работающего на номинальной скорости. Управляющим воздействием системы ТП-Д в данном случае является напряжение управления ТП, а возмущающим – скачкообразная нагрузка на валу двигателя.

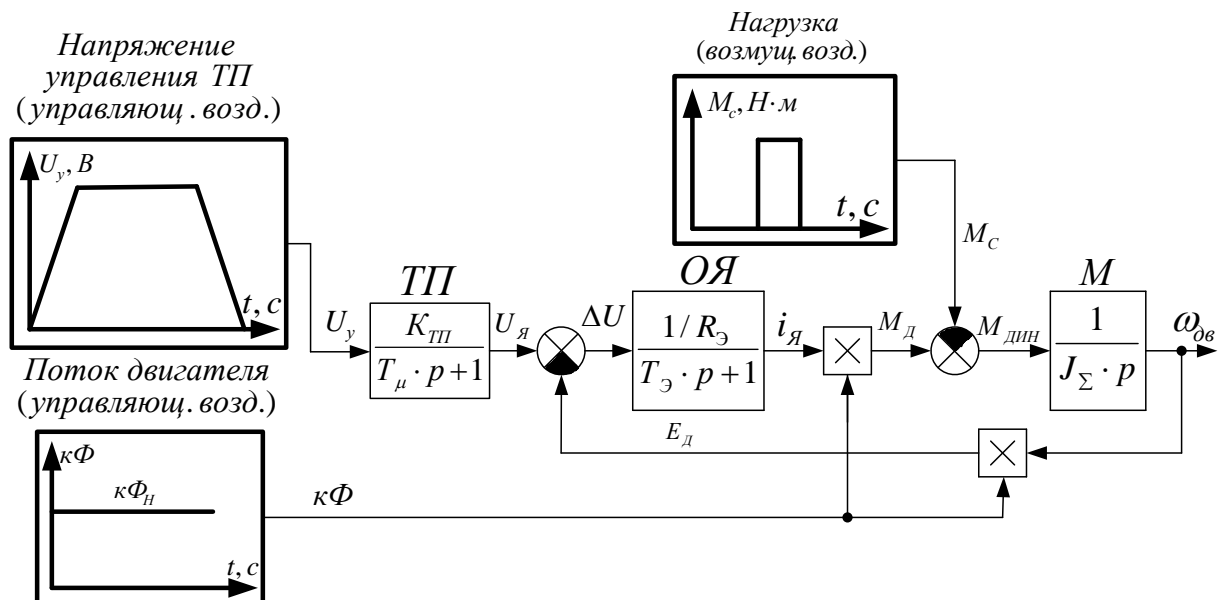


Рис. Разгон, работа и торможение двигателя с приложением скачкообразной статической нагрузки

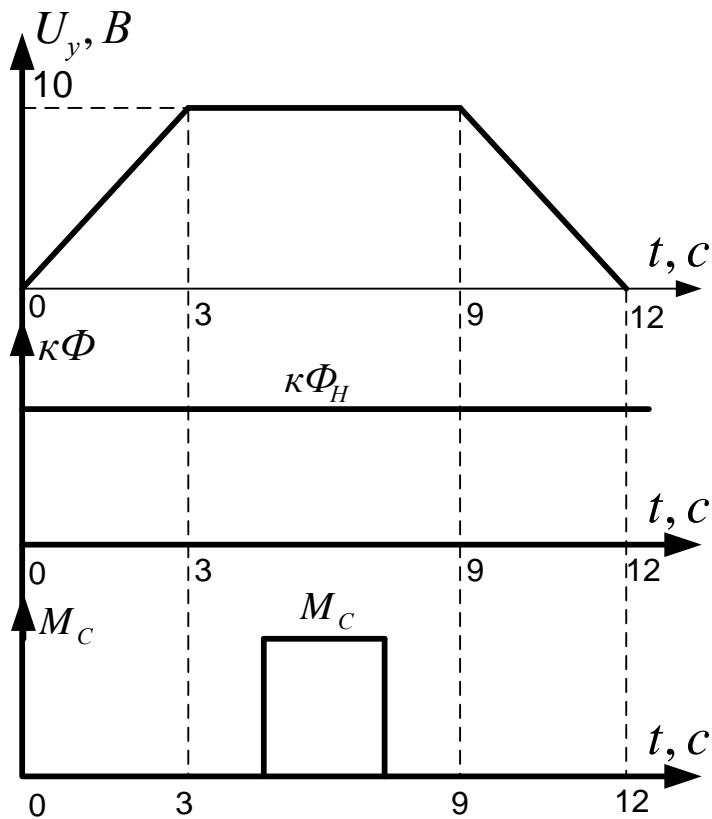


Рис. Управляющие сигналы напряжения управления ТП, номинального потока двигателя и возмущающего – статического момента

В четвертом эксперименте, к работающему на номинальной скорости двигателю, скачком прикладывается статический момент при ослабленном в 2 раза магнитном потоке. Необходимо исследовать и проанализировать переходные процессы $U_{я} = f(t)$, $i_{я} = f(t)$, $\omega_{об} = f(t)$. Управляющим воздействием системы ТП-Д в данном случае является напряжение управления ТП и поток, а возмущающим – скачкообразная нагрузка на валу двигателя.

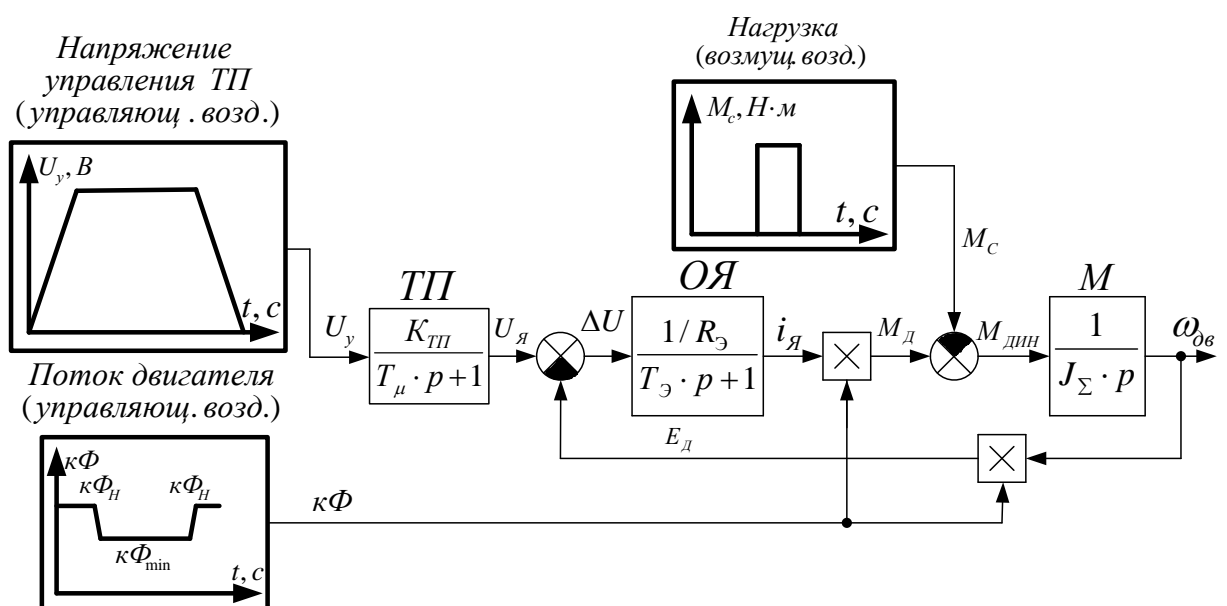


Рис. Разгон, работа и торможение двигателя с приложением скачкообразной статической нагрузки при ослабленном магнитном потоке

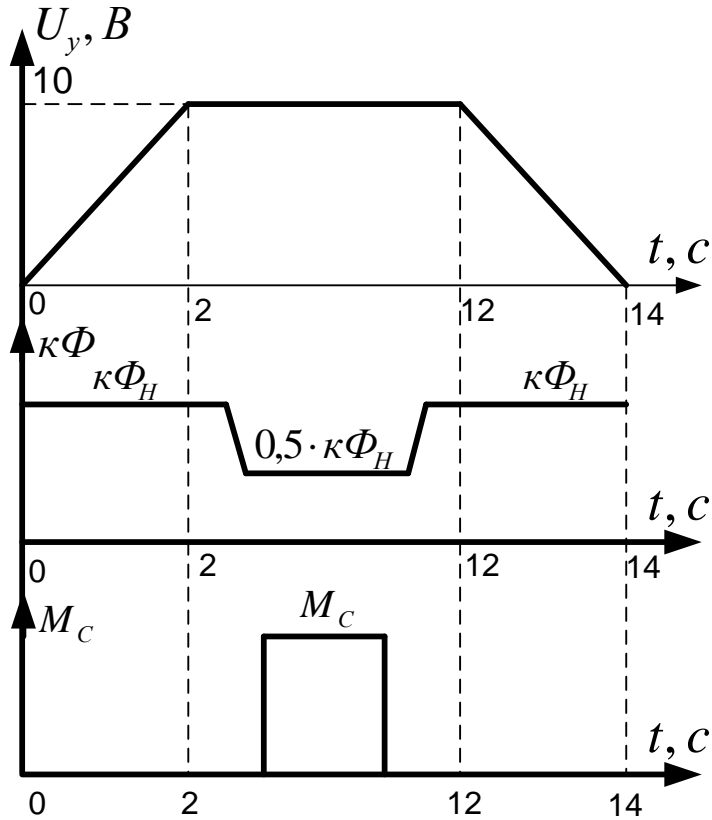


Рис. Управляющие сигналы напряжения управления ТП, номинального потока двигателя и возмущающего – статического момента при ослабленном потоке

Пятый эксперимент предполагает исследование переходных процессов $U_{я} = f(t)$, $i_{я} = f(t)$, $\omega_{об} = f(t)$ с линейно изменяющейся нагрузкой на валу работающего на номинальной скорости двигателя. В данном случае, управляющими сигналами будут – напряжение управления ТП и номинальный поток, а возмущающим – линейный момент на валу двигателя.

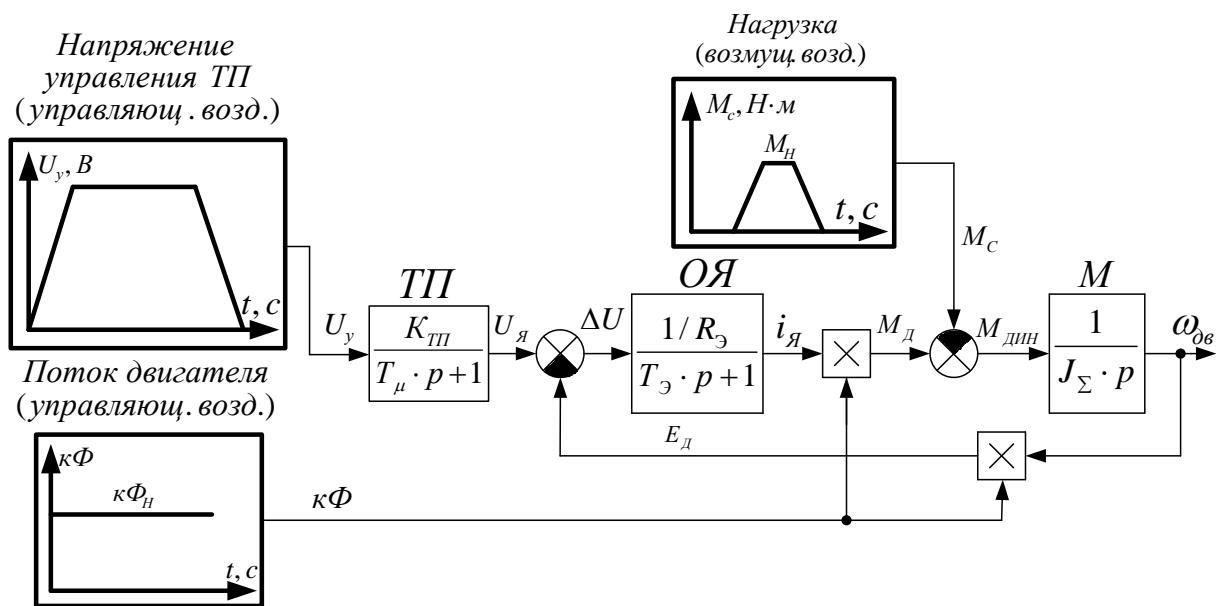


Рис. Разгон, работа и торможение двигателя с применением линейной статической нагрузки

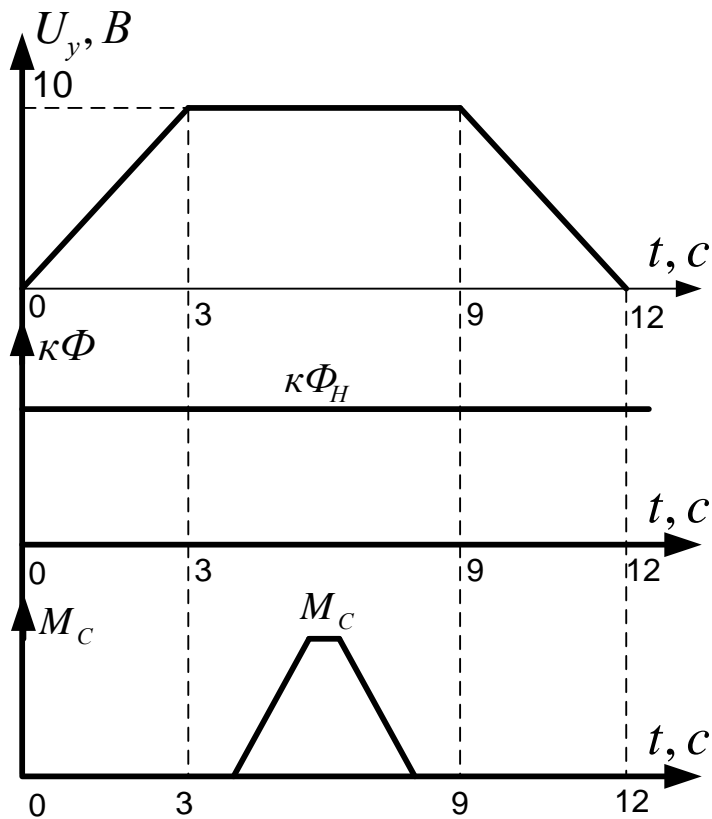


Рис. Управляющие сигналы напряжения управления ТП, номинального потока двигателя и возмущающего – линейного статического момента

В последнем шестом эксперименте необходимо получить переходные процессы $U_{\text{я}} = f(t)$, $i_{\text{я}} = f(t)$, $\omega_{\text{об}} = f(t)$ при скачкообразном приложении номинального статического момента к валу двигателя, работающего на номинальной скорости с добавочными сопротивлениями в якорной цепи $R_{\text{д}\Sigma} = R_{\text{д}1} + R_{\text{д}2}$. Управляющим воздействием системы ТП-Д в данном случае является напряжение управления ТП, а возмущающим – скачкообразная нагрузка на валу двигателя. Для реализации данного эксперимента нужно пересчитать эквивалентное сопротивление якорной цепи с учетом $R_{\text{д}\Sigma} = R_{\text{д}1} + R_{\text{д}2}$ по формуле

$$R_{\Sigma} = R_{\Sigma \text{я}80^{\circ}\text{C}} + R_{\text{д}\Sigma} + a_{\text{в}} \left(R_{\text{Т}} + \frac{m \cdot x_{\text{Т}}}{2\pi} \right).$$

Структурная схема для моделирования ДПТ в программе Matlab Simulink с рассчитанными параметрами приведена на (рис.).

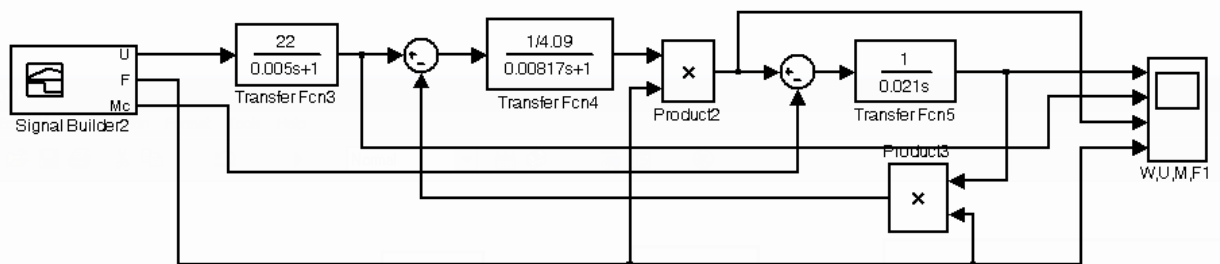


Рис. Модель ДПТ с двухзонным регулированием скорости в программе Matlab Simulink

На (рис.) приведены переходные процессы основных координат электропривода для шести экспериментов, описанных выше.

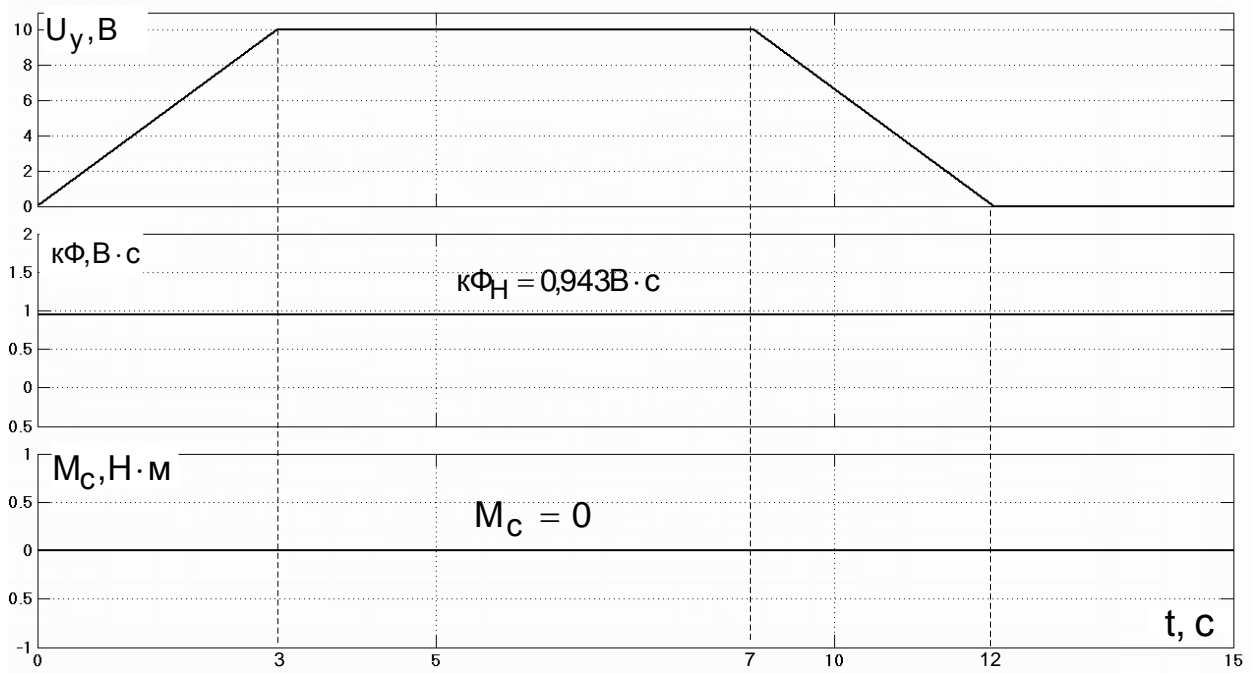


Рис. Сигналы задания для привода в режиме х/х

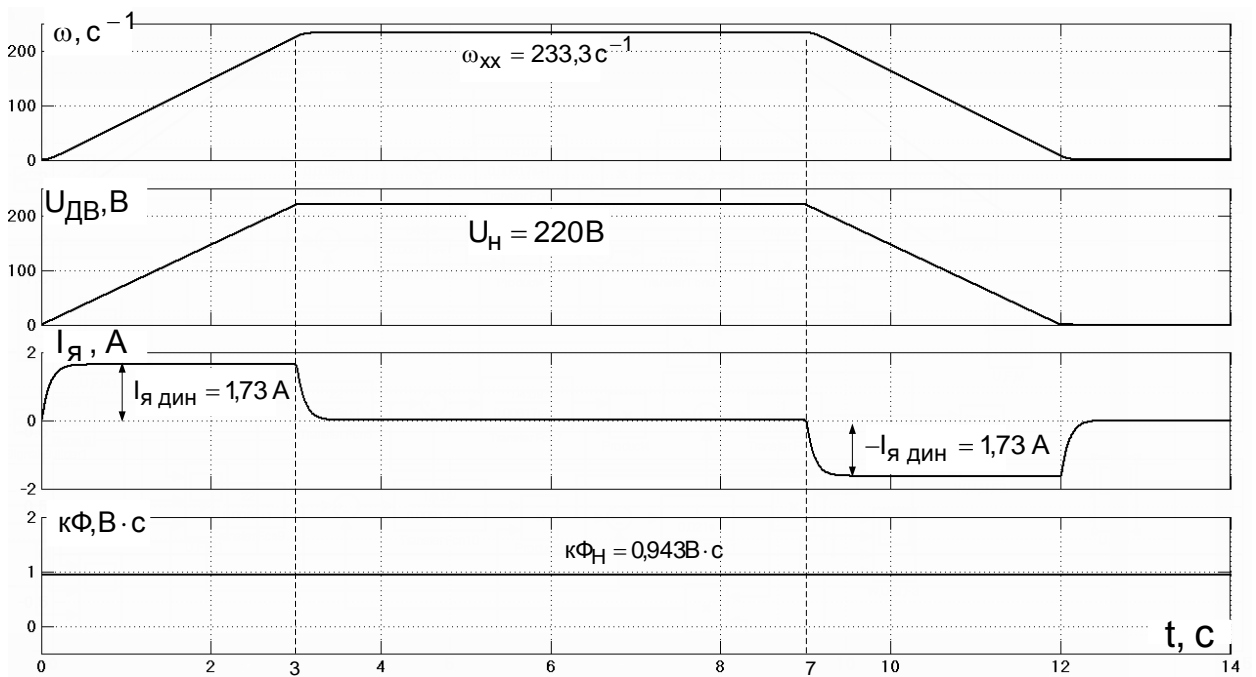


Рис. Переходные процессы привода в режиме х/х в первой зоне регулирования скорости

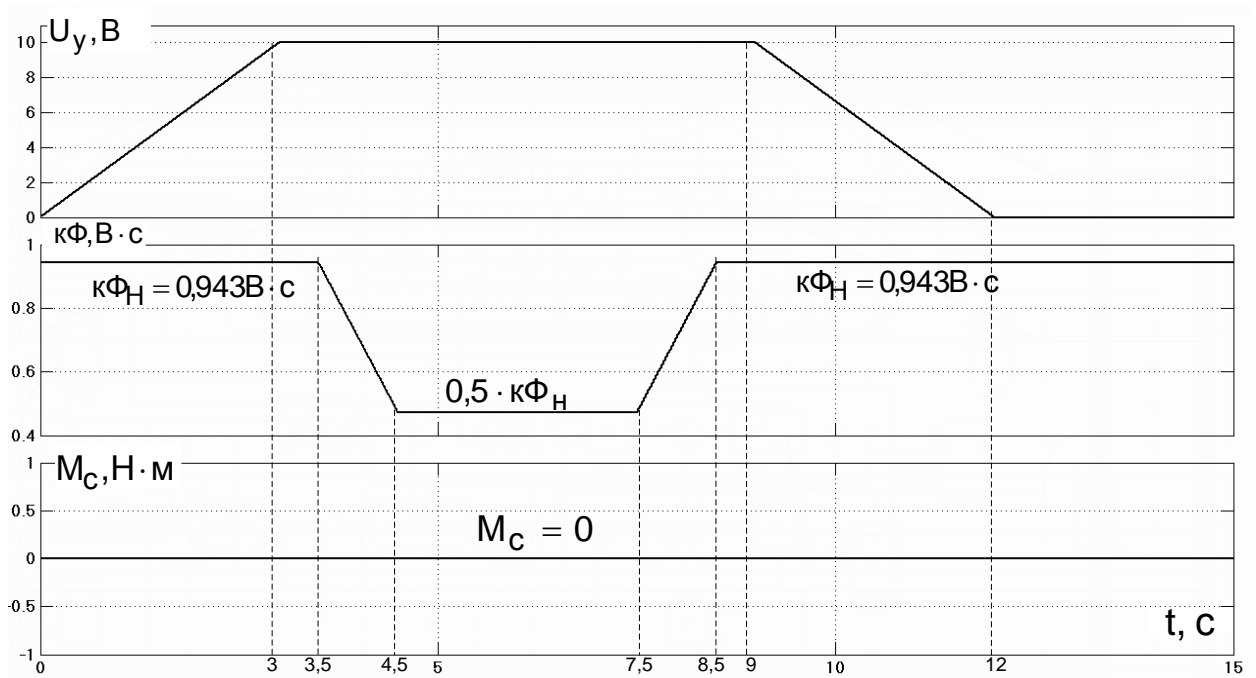


Рис. Сигналы задания привода в режиме x/x с ослаблением магнитного потока

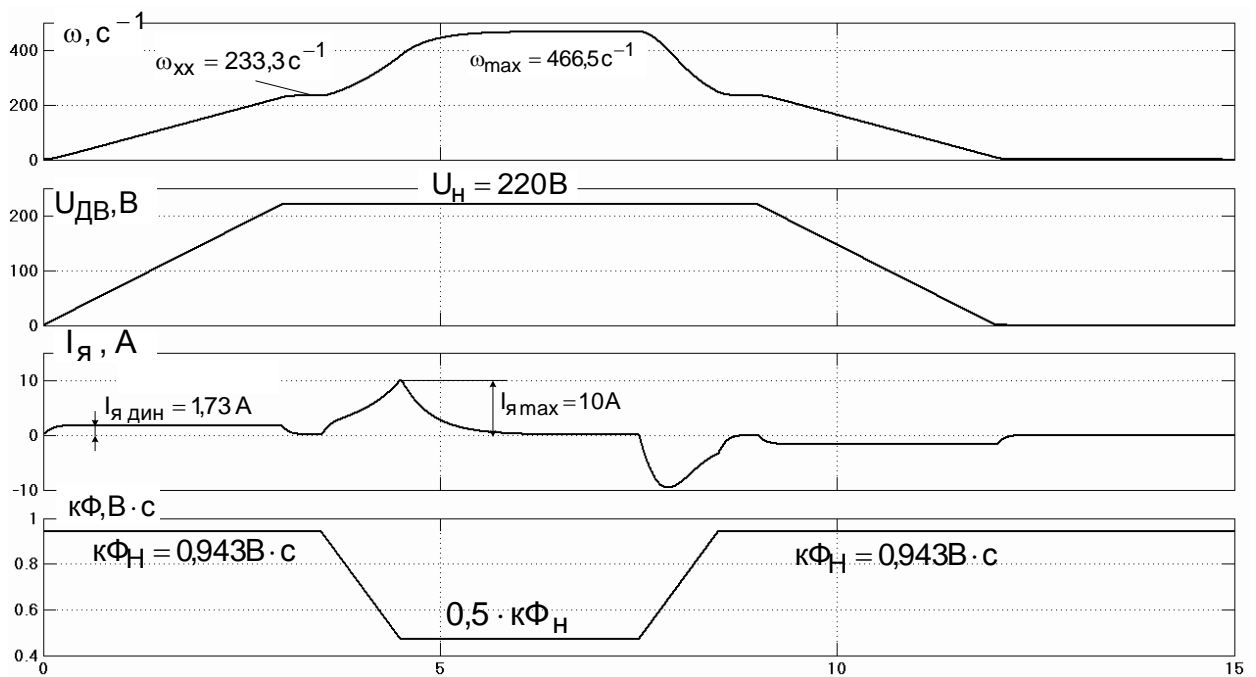


Рис. Переходные процессы привода в режиме x/x в первой и второй зоне регулирования скорости

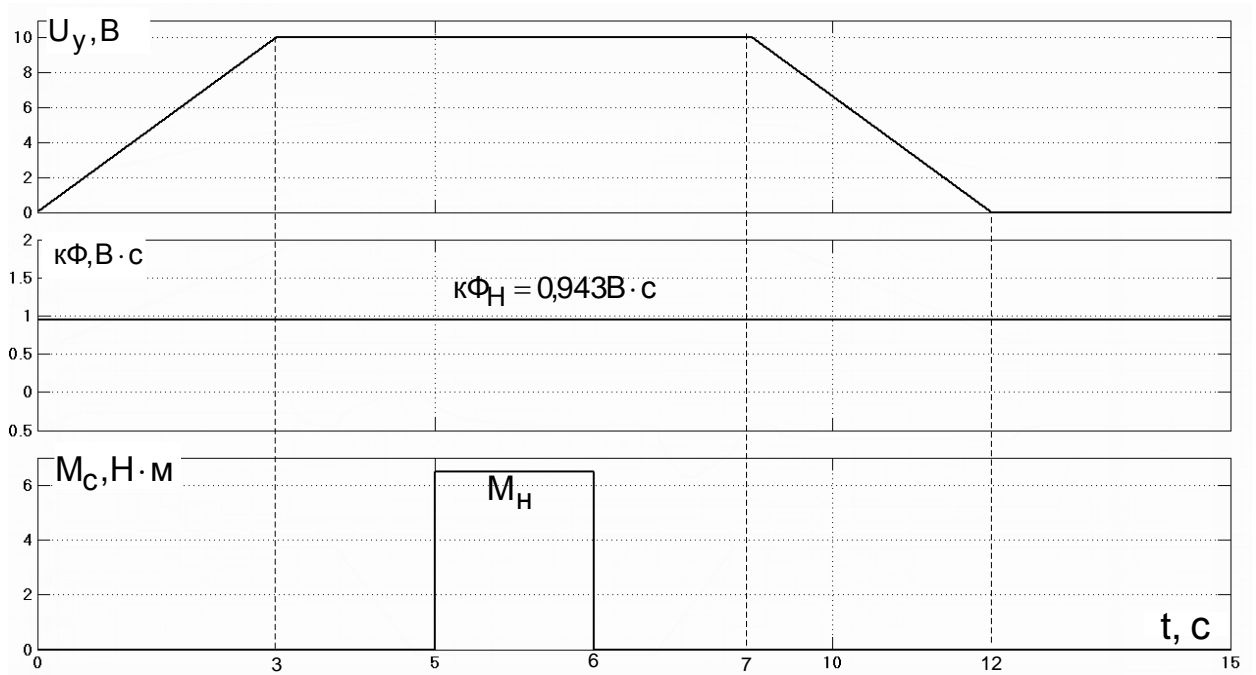


Рис. Сигналы задания привода с ударным приложением статического момента

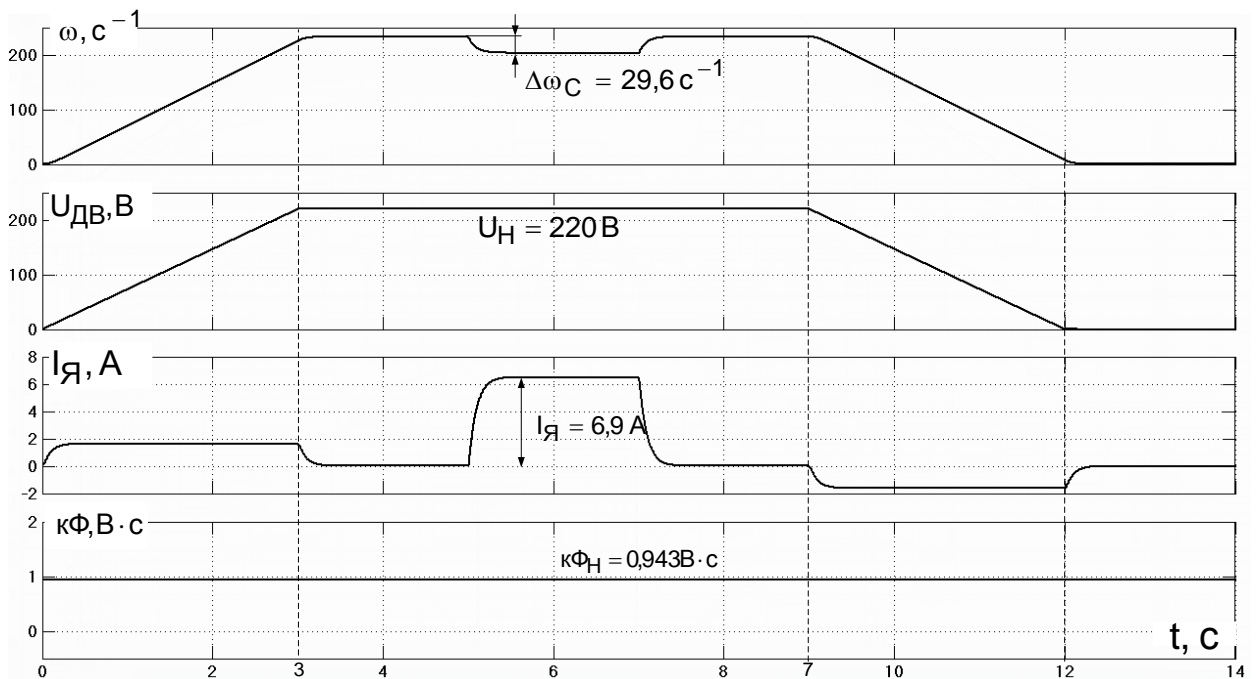


Рис. Переходные процессы привода с ударным приложением статического момента

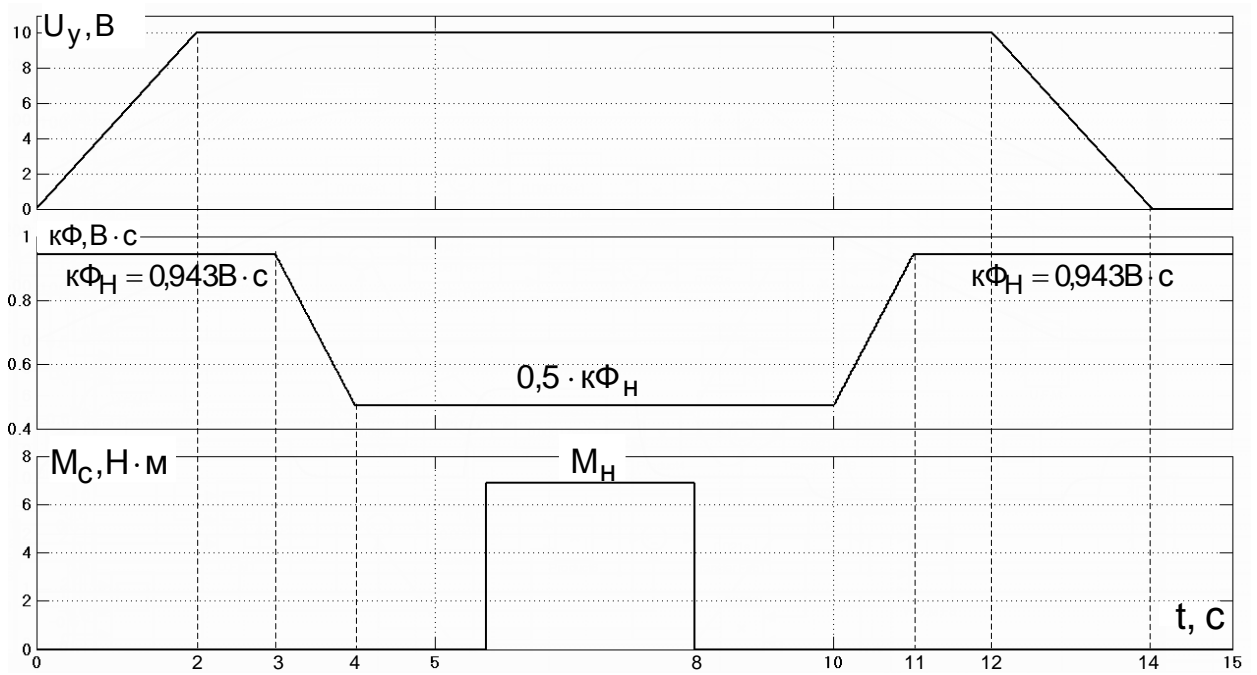


Рис. Сигналы задания привода с ударным приложением статического момента с ослабленным магнитным потоком

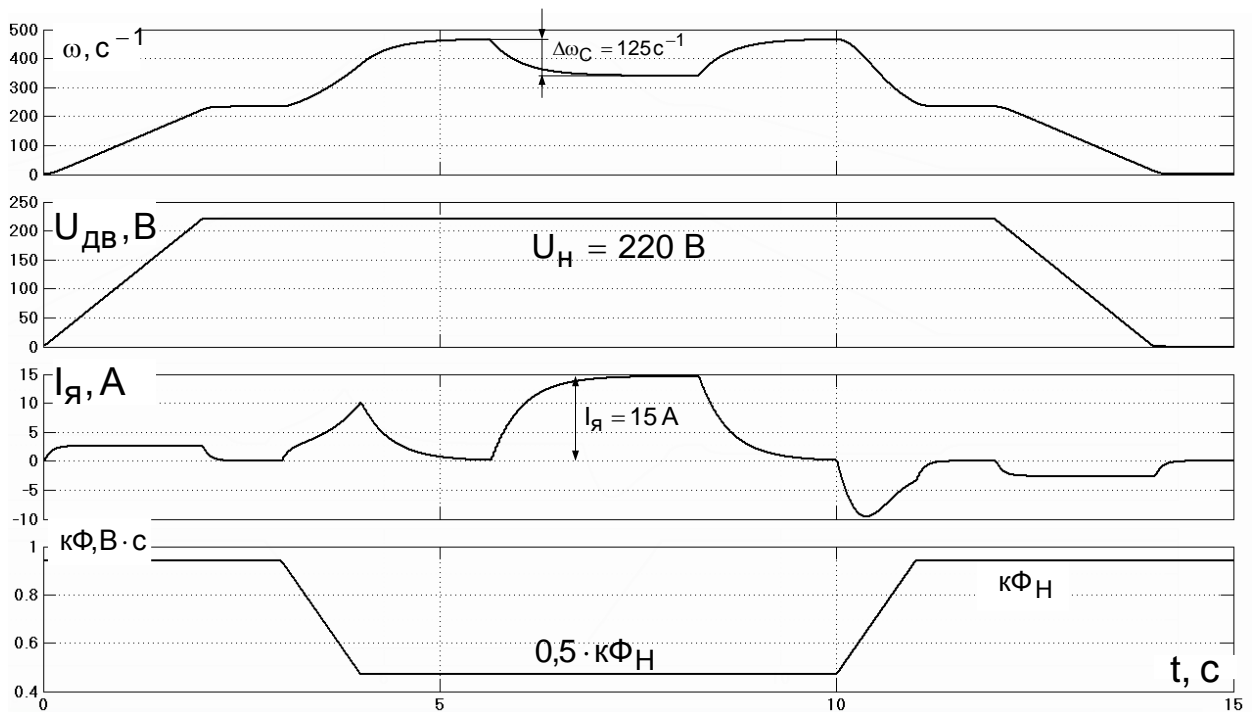


Рис. Переходные процессы привода с ударным приложением статического момента во второй зоне