

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего
образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт: Энергетический
Направление подготовки Электроэнергетика и электротехника 13.03.02
Кафедра Электропривода и электрооборудования

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Электропривод центрифуги для очистки буровых растворов

УДК 62-83-523:622.794

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ4А	Исаев Кирилл Сергеевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент кафедры ЭПЭО	С.Н. Кладиев	к.т.н., доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент кафедры менеджмента	А.А. Фигурко	к.э.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ассистент кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности	И.И. Романцов	к.т.н., доцент		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Электропривода и электрооборудования	Ю.Н. Дементьев	к.т.н., доцент		

Томск – 2016 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
Универсальные компетенции	
P1	<i>Совершенствовать</i> и развивать свой интеллектуальный и общекультурный уровень, добиваться нравственного и физического совершенствования своей личности, обучению новым методам исследования, к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности.
P2	<i>Свободно пользоваться русским и иностранным языками</i> как средством делового общения, способностью к активной социальной мобильности.
P3	<i>Использовать</i> на практике навыки и умения в организации научно-исследовательских и производственных работ, в управлении коллективом, использовать знания правовых и этических норм при оценке последствий своей профессиональной деятельности.
P4	<i>Использовать</i> представление о методологических основах научного познания и творчества, роли научной информации в развитии науки, готовностью вести работу с привлечением современных информационных технологий, синтезировать и критически резюмировать информацию.
Профессиональные компетенции	
P5	<i>Применять углубленные естественнонаучные, математические, социально-экономические и профессиональные знания</i> в междисциплинарном контексте в инновационной инженерной деятельности в области электроэнергетики и электротехники.
P6	<i>Ставить и решать инновационные задачи</i> инженерного анализа в области электроэнергетики и электротехники с использованием глубоких фундаментальных и специальных знаний, аналитических методов и сложных моделей в условиях неопределенности.
P7	<i>Выполнять инженерные проекты</i> с применением оригинальных методов проектирования для достижения новых результатов, обеспечивающих конкурентные преимущества электроэнергетического и электротехнического производства в условиях жестких экономических и экологических ограничений.
P8	<i>Проводить инновационные инженерные исследования</i> в области электроэнергетики и электротехники, включая критический анализ данных из мировых информационных ресурсов.
P9	<i>Проводить технико-экономическое обоснование</i> проектных решений; выполнять организационно-плановые расчеты по созданию или реорганизации производственных участков, планировать работу персонала и фондов оплаты труда; определять и обеспечивать эффективные режимы технологического процесса.
P10	<i>Проводить монтажные, регулировочные, испытательные, наладочные работы</i> электроэнергетического и электротехнического оборудования.
P11	<i>Осваивать новое</i> электроэнергетическое и электротехническое оборудование; проверять техническое состояние и остаточный ресурс оборудования и организовывать профилактический осмотр и текущий ремонт.
P12	<i>Разрабатывать рабочую проектную и научно-техническую документацию</i> в соответствии со стандартами, техническими условиями и другими нормативными документами; организовывать метрологическое обеспечение электроэнергетического и электротехнического оборудования; составлять оперативную документацию, предусмотренную правилами технической эксплуатации оборудования и организации работы.

Министерство образования и науки Российской Федерации
 Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
 высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт - Энергетический
 Направление подготовки – Электроэнергетика и электротехника
 Кафедра – Электропривода и электрооборудования

УТВЕРЖДАЮ:
 Зав. кафедрой

 (Подпись) _____
 (Дата) Ю.Н. Дементьев
 (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
5ГМ4А	Исаеву Кириллу Сергеевичу

Тема работы:

Электропривод центрифуги для очистки буровых растворов	
Утверждена приказом директора Энергетического института (дата, номер)	от 12.02.2016, № 1023/с

Срок сдачи студентом выполненной работы: (дата)	24.05.2016
---	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	Тип привода: ведущий привод асинхронный частотно регулируемый электропривод ротора центрифуги с векторным управлением. (P=30кВт, 1500 об/мин) Ведомый привод асинхронный частотно регулируемый электропривод шнека с векторным управлением. (P=7,5кВт, 1500 об/мин) 1. Синхронный пуск с ведущим приводом на номинальную скорость 2. Подача бурового раствора 3. После выхода на номинальную скорость ведомый привод отстаёт от ведущего на 1...30 об/мин 4. Возможность регулировать изменение
---	--

	скорости в зависимости от плотности раствора Требуемая точность поддержания скорости 0,1% на всей характеристике. Плавный пуск в течение 40 с. с последующим торможением. Задание на скорость выполнить с помощью S-образного задатчика интенсивности.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования; содержательная, концептуальная, математическая структурная модель; разработка алгоритма решения задачи; выбор программного обеспечения; индивидуальные; дополнительные разделы, подлежащие разработке; заключение по работе).</i>	Теоретические сведения о центрифугах по очистке промышленных жидкостей. Центрифугирование в системе очистки буровых растворов. Расчет и выбор оборудования системы регулируемого электропривода. Расчет параметров следящего электропривода. Моделирование двухдвигательного электропривода в среде Matlab.
Перечень графического материала	
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Фигурко Аркадий Альбертович, к.э.н., доцент
«Социальная ответственность»	Романцов Игорь Иванович, к.т.н., доцент
«Английский язык»	Ляпунов Данил Юрьевич, к.т.н., доцент
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Введение; описание устройства центрифуги; оборудование и управление; выбор и описание преобразователя частоты; заключение.	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	15.09.2016 г.
---	---------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кладиев С.Н.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ4А	Исаев Кирилл Сергеевич		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
5ГМ4А	Исаев Кирилл Сергеевич

Институт	Энергетический	Кафедра	Электропривода и электрооборудования
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка конкурентоспособности результатов НИИ
2. «Портрет» потребителя результатов НИИ
3. Планирование процесса управления НИИ: структура и график проведения, бюджет
4. Ресурсный эффект от внедрения результатов НИИ

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Таблицы оценки конкурентоспособности НИИ
2. График проведения и бюджет НИИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент кафедры менеджмента	А.А. Фигурко	к.э.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ4А	Исаев Кирилл Сергеевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5ГМ4А	Исаев Кирилл Сергеевич

Институт	ЭНИН	Кафедра	ЭПЭО
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения: – вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения) – опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы) – негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу) – чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера)	Описание блок-контейнера. Является составной частью системы очистки буровых растворов. Расположен на территории кустовой площадки Определение опасных (поражение током, пожар), а также вредных (шум, вибрация) факторов.
2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме	—ГОСТ Р МЭК 60811-2-1-2006 — ГОСТ Р МЭК 60811-1-1-98(2003) — Паспорт Гб 2.773.172 ПС — ГОСТ 7855-84.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности: – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства)	Вредные производственные факторы при очистке буровых растворов: шум, вибрация и недостаточное или неправильное освещение.
2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты);	Выявленные опасные факторы: — подвижные элементы (барабаны, винты, ротор центрифуги); — Поражающее действие электрического тока открытых токоведущих частей с электрооборудования, находящегося под

– <i>электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты);</i> – <i>пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)</i>	напряжением.
3. <i>Охрана окружающей среды:</i> – <i>анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</i> – <i>анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</i> – <i>анализ воздействия объекта на литосферу (отходы).</i>	При работе центрифуги, было выявлено негативное влияние отходов производства на окружающую среду, в частности на атмосферу.
4. <i>Защита в чрезвычайных ситуациях:</i> – <i>перечень возможных ЧС на объекте;</i> – <i>разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий</i>	Наиболее вероятными ЧС при работе в цеху являются пожар или взрыв на рабочем месте. Кроме того, при работе с открытыми токоведущими частями большая вероятность поражения эл. током. Для предотвращения ЧС предусмотрены средства коллективной и личной защиты.
5. <i>Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</i> – <i>специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</i> – <i>организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны</i>	— ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности. — ГОСТ 12.1.003 – 83 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности. — ГОСТ 12.1.038–82 ССБТ. Электробезопасность. — СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий. — СН 2.2.4/2.1.8.562 – 96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки. — ППБ 01-03. Правила пожарной безопасности в РФ. — ГОСТ 12.4.011 – 89 ССБТ. Средства защиты работающих.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ассистент кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности	Романцов Игорь Иванович	к.т.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ4А	Исаев Кирилл Сергеевич		

Реферат

В работе проведено исследование асинхронного электропривода ротора центрифуги с векторным управлением в среде Matlab на примере технологического процесса очистки буровых растворов от механических примесей, описание конструкции и принцип работы центрифужных установок. Выполнено имитационное моделирование в Simulink. Представлена модель двухдвигательного асинхронного электропривода для работы заданным отставанием. Выполнен расчет центрифуги представлены данные для расчета. В разделе экономики произведен расчет сметы затрат на разработку проекта. В разделе безопасность и жизнедеятельность труда рассмотрены вопросы охраны труда и техники безопасности. Проанализированы опасные и вредные факторы при очистке буровых растворов.

Работа содержит 165 страниц, 44 рисунков, 17 таблиц, 16 используемых источников.

Работа выполнена в текстовом редакторе *Microsoft Word* 2013, графическом редакторе *Microsoft Office Visio* 2013. Расчеты производились с помощью пакета прикладных программ *MathCAD* 14. Имитационное моделирование электропривода выполнено с помощью пакета программ *Matlab* R2013b.

Содержание

Введение	11
Технология центрифугирования	13
1 Основы центрифугирования	13
1.1 Общие сведения	13
1.2 Процессы центрифугирования.....	14
1.3 Классификация центрифуг	16
1.4 Характеристики суспензий и эмульсий	21
2 Центрифугирование в системе очистке буровых растворов	24
2.1 Применение центрифуг	24
2.2 Осадительные центрифуги со шнековой выгрузкой осадка.....	24
2.3 Расчет центрифуги. Данные для расчета	25
2.4 Материальный баланс.....	26
2.5 Конструктивный расчет.....	27
2.6 Расчет момента инерции ротора.....	34
3 Центрифуга GEA.....	38
3.1 Общие сведения и принцип работы центрифуги	38
3.2 Описание устройства и составных частей центрифуги.....	39
3.3 Электрооборудование центрифуги.....	42
3.4 Технические характеристики центрифуги.....	43
4 Электропривод	45
4.1 Общие сведения	45
4.1.1 Назначение и функции электропривода.....	45
4.1.2 Структура электропривода	46
4.1.3 Автоматизированный электропривод	47
4.1.4 Энергосберегающий электропривод	48
4.2 Состав электропривода ротора центрифуги	49
5 Исследование асинхронного электропривода.....	50
5.1 Общие положения	50
5.2 Разработка структуры векторного частотно-токового управления	50
5.3 Математическое описание асинхронной короткозамкнутой машины относительно двух переменных состояния: $\bar{i}_S, \bar{\psi}_R$	54
5.3.1 Описание в относительной форме в произвольной системе координат	54

5.3.2	Описание в абсолютных единицах в произвольной системе координат	59
6	Имитационное исследование в Simulink	60
6.1	Математическое описание векторного управления двигателем	60
6.2	Расчёт параметров регулятора тока при идеальном источнике тока	68
6.3	Исследование влияния насыщения регулятора, квантования сигнала токовой обратной связи по уровню и времени	73
6.4	Исследование влияния реальных свойств преобразователя частоты на статические и динамические свойства контура тока	76
6.5	Расчёт параметров регулятора потока при идеальном источнике тока	79
6.6	Исследование влияния насыщения регулятора, квантования и задержки обратной связи, способа реализации источника тока	82
6.7	Расчёт параметров регулятора скорости при идеальном источнике тока	87
6.8	Исследование влияния насыщения регуляторов, квантования и запаздывания сигнала обратной связи	94
6.9	Компьютерное моделирование двухдвигательного электропривода механизмов центрифуги в MATLAB	103
7	Раздел финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	110
7.1	Предпроектный анализ	110
7.2	Расчет материальных затрат РиП	126
8	Социальная ответственность	134
	Заключение	145
	Список использованных источников	147
	Приложение А	149

Введение

Центрифуга — устройство, (машина или прибор), служащее для разделения сыпучих материалов или жидкостей или отделения жидкостей от твёрдых тел путем использования центробежной силы. При вращении в центрифуге частицы с наибольшим удельным весом располагаются на периферии, а частицы с меньшим удельным весом — ближе к оси вращения.

Центрифуги применяются в лабораторной практике, в сельском хозяйстве для очистки зерна, выдавливания мёда из сот, выделения жира из молока, в промышленности для обогащения руд, в крахмало-паточном производстве, в текстильном производстве, в прачечных для отжима воды из белья и т. п.

Центрифуги широко используются в нефтедобывающей отрасли для обезвоживания материалов. Они особенно удобны в тех случаях, когда разделяемая суспензия содержит значительное количество твёрдого материала и дальнейшее удаление влаги обычными способами обезвоживания (сгущение, фильтрация) затруднено. Перерабатываемые на шнековых центрифугах суспензии могут иметь самые разнообразные физико-химические свойства. Центрифуги позволяют: разделять суспензии с кристаллической и аморфной, абразивной и легкоразрушаемой твердой фазой при высоких требованиях к степени обезвоживания осадка и качеству осветленной жидкости, а также очистки другой продукции, применение центрифужных установок в научно-исследовательских целях. Непрерывность работы данных центрифуг позволяет автоматизировать технологический процесс, осуществляемый с помощью центрифуг, что в свою очередь позволяет использовать их в системе АСУ ТП установки очистки буровых растворов от механических примесей.

Цель выпускной квалификационной работы:

Исследование электропривода ротора осадительной центрифуги, разработка структуры векторного частотно-токового управления, для реализации исследования создание виртуальной модели асинхронного двигателя в современном мощном программном продукте Simulink (Matlab). На

основе математического описания и методик, представленных в учебной и технической литературе, исследовать статические характеристики двигателя с различным характером нагрузки и воздействия нагрузки номинального значения во всём диапазоне частоты вращения.

Смоделировать синхронный пуск с ведущим приводом на номинальную скорость после выхода на номинальную скорость задать отставание ведомого привода от ведущего на 1...30 об/мин. Задание на скорость выполнить с помощью S-образного задатчика интенсивности.

Технология центрифугирования

1 Основы центрифугирования

1.1 Общие сведения

Одним из достижений науки и техники является создание и использование поля центробежных сил, которое оказалось весьма эффективным для разделения неоднородных систем в машинах, называемых центрифугами. Такое разделение, получившее название центрифугирования, служит основой многих новых промышленных процессов. С помощью центрифуг достигается достаточно четкое и в то же время быстрое разделение самых разнообразных неоднородных жидких систем, таких, как сырая нефть и суспензия поливинилхлоридной смолы, смазочные масла и соли аммония, каменноугольный шлам.[4]

Процессы центрифугирования относятся к наиболее сложным процессам технологии, а центрифуги — к сложнейшим технологическим аппаратам.

Процессы центрифугирования, объединяемые лишь силовым полем, в котором они протекают, различны и подчиняются разным закономерностям. Следует различать центрифугирование суспензий, шламов, эмульсий, растворов и аэрозолей. Центрифугирование технических суспензий и шламов производится двумя методами. По первому их разделяют благодаря использованию объемных сил дисперсной фазы, по второму — объемных сил дисперсионной среды и частично дисперсной фазы. В первом случае центрифугирование выполняется в роторах со сплошной стенкой, во втором с перфорированной. Разделение в сплошных роторах условно можно сравнить с отстаиванием в поле сил тяжести, хотя особенности центробежного поля обуславливают существенную разницу в протекании этих процессов. Центрифугирование в перфорированных роторах является своеобразным процессом, отдельные элементы которого сходны с процессами фильтрации, прессования шламов и т. д.

1.2 Процессы центрифугирования

Процессы центрифугирования суспензий и шламов в сплошных роторах можно подразделить на центрифугальное осветление и осадительное центрифугирование. Осадительное центрифугирование является процессом разделения суспензий, содержащих значительное количество твердой фазы. Примерами осадительного центрифугирования являются отделение угольного шлама от воды, выделение твердой фазы из сточных вод и др.[4]

Осадительное центрифугирование в общем случае складывается из трех процессов:

- 1) осаждения твердой фазы;
- 2) уплотнения осадка;
- 3) частичного удаления жидкости из пор осадка.

Процесс центрифугирования суспензий и шламов в перфорированных роторах называется центробежным фильтрованием.

В общем случае он состоит из следующих трех процессов, протекающих в результате воздействия на обрабатываемый продукт центробежных сил инерции:

- 1) Фильтрования с образованием осадка, отделения частиц, взвешенных в жидкости, при прохождении последней через проницаемую стенку ротора центрифуги;
- 2) Отжима жидкости из образовавшегося осадка;
- 3) Удаления из осадка жидкости, удерживаемой молекулярными силами.

Центробежное фильтрование с образованием осадка протекает подобно обычному фильтрованию. Вслед за этим процессом происходит отжим жидкости из осадка, сопровождающийся уплотнением последнего. Затем следует удаление жидкости, удерживаемой в местах соприкосновения частиц и на их поверхности. Примерами центробежного фильтрования, когда протекают все три процесса, являются отделение промывных вод от каптакса и отделение маточного раствора от нитрозофенола.

Процесс, состоящий из отжима и отделения пленочной и капиллярной жидкости, называется центробежным отжимом. Примером этого процесса является центрифугирование сульфата аммония. Процесс, при котором происходит только удаление пленочной и капиллярной жидкости, назовем центробежной сушкой. В данном случае помимо перетекания пленочной и капиллярной жидкости имеет место и испарение жидкости с уносом паров потоком воздуха, проходящего через стенку ротора.

Процессы центрифугирования, как и другие технологические процессы, подразделяются: периодические, непрерывные и комбинированные. При периодическом процессе отдельные его стадии или операции осуществляются в одном аппарате или машине, но в разное время. При периодическом центрифугировании в промежуток времени от загрузки продукта до его выгрузки жидкая фаза непрерывно выводится из вращающегося ротора. Некоторые параметры периодического процесса изменяются во времени. Так, скорость процесса центрифугирования уменьшается, изменяется концентрация твердой фазы в отходящей жидкости — фугате и т.д. Непрерывный процесс характеризуется одновременным протеканием всех стадий, установившимся состоянием и непрерывной выгрузкой конечного продукта. В идеальном случае при непрерывном процессе вследствие установившегося состояния в любой точке массы обрабатываемого материала или в любом сечении аппарата физические величины или параметры в течение всего времени протекания процесса остаются неизменными. При непрерывном центрифугировании скорость вращения ротора постоянна. Центрифуга непрерывно и отдельно выдает продукты, полученные в результате процесса, причем производительность центрифуги и скорость процесса не изменяются во времени. Примерами непрерывного центрифугирования являются обработка суспензий в осадительных центрифугах со шнековой выгрузкой осадка, разделение эмульсий на тарельчатых сепараторах и в трубчатых сверхцентрифугах.

1.3 Классификация центрифуг

Центрифугирование получило широкое распространение в разнообразных областях техники. Классификация их довольно обширна и затрагивает большое количество отраслей промышленности. [4]

Прежде всего, центрифуги нужно подразделять: производственные и аналитические. Наиболее характерными признаками производственных центрифуг как технологического оборудования являются принцип разделения, технологическое назначение, способ проведения процесса (непрерывно или периодически). Конструктивными характеристиками центрифуг являются: расположение вала, устройство и расположение опор вала, способ выгрузки осадка, степень герметизации и взрывозащищенности.

В большей степени характеризует центрифуги ускорение центробежного поля, создаваемого ими. На практике, однако, удобно рассматривать не указанную величину, а ее безразмерное отношение к ускорению поля сил тяжести — так называемый фактор разделения центрифуги:

$$F_r = \frac{\omega^2 \cdot R}{g} \quad (1.1)$$

где ω - угловая скорость ротора в рад/с;

g - ускорение силы тяжести в м/сек²;

R - радиус ротора в м.

Максимальное значение фактора разделения практически достигается увеличением угловой скорости (при вынужденном уменьшении радиуса ротора). Естественно, что ω и R зависят от конструктивных особенностей центрифуг. Увеличение фактора разделения обуславливает специальные требования к конструкции, связанные с условиями прочности, устойчивости и т. д. Значение фактора разделения часто определяет конструктивные особенности центрифуги. В зависимости от технологического назначения, или принципа разделения, различают следующие типы центрифуг. Фильтрующие

— для разделения сравнительно грубодисперсных суспензий с кристаллической или аморфной твердой фазой, а также для отделения влаги от штучных материалов; применение таких центрифуг обеспечивает наименьшее содержание жидкой фазы в осадке и его эффективную промывку. Отстойные и осветляющие — для разделения плохо фильтрующихся суспензий, осветления суспензий небольшой концентрации, а также классификации суспензий по крупности и плотности твердых частиц. Разделяющие (сепарирующие) — разделение эмульсий. Комбинированные, в которых сочетаются два принципа разделения — осаждение с последующей фильтрацией или фильтрация с последующим осаждением в центробежном поле.

По принципу разделения центрифуги можно подразделить на фильтрующие, осадительные и комбинированные. Фильтрующие центрифуги применяют для разделения суспензий при требовании глубокого обезвоживания и высокой степени промывки осадка, а также для отжима не текучих материалов, поры которых целиком или частично заполнены жидкостью. Осадительные центрифуги используют для разделения как хорошо, так и плохо фильтрующихся суспензий. В зависимости от технологического назначения осадительные центрифуги подразделяют на обезвоживающие, универсальные, осветляющие и разделяющие (сепарирующие) центрифуги, для разделения эмульсий. Обезвоживающие осадительные центрифуги применяют для разделения высококонцентрированных суспензий средней дисперсности при высоких требованиях к степени обезвоживания осадка, универсальные центрифуги предназначены для средне и малоконцентрированных суспензий при умеренных требованиях к чистоте фугата и влажности осадка. Осветляющие центрифуги применяют для выделения высокодисперсной твердой фазы из малоконцентрированных суспензий.

От способа выгрузки осадка из ротора центрифуги в большой степени зависит течение процесса центрифугирования. Например, при движении осадка по конической поверхности ротора изменяются проницаемость осадка и величина движущей силы процесса. Способ выгрузки часто обуславливает

требования к характеристикам исходного и готового продукта и т. д. Поэтому способ выгрузки продуктов разделения из центрифуги является одной из важнейших ее характеристик. По способу выгрузки осадка следует различать центрифуги:

с ручной, шнековой, контейнерной, гравитационной выгрузкой, с пульсирующим поршнем, выталкивающим поршнем, инерционной, ножевой, механико-пневматической и гидравлической выгрузкой осадка.

Центрифуги подразделяются по способу выгрузки осадка на следующие типы:

с ручной выгрузкой через верхний борт; осадок выгружают без применения специальных механизмов после полной остановки ротора;

с ручной выгрузкой через днище — без применения специальных механизмов после полной остановки ротора;

с ручной выгрузкой и разборкой ротора; осадок выгружается без применения специальных механизмов после полной остановки ротора;

с контейнерной, или кассетной, выгрузкой — с помощью специальных съемных контейнеров, мягких или жестких кассет и т. п.;

с ножевой выгрузкой; осадок выгружается ножом или скребком специального механизма на ходу при полном или уменьшенном числе оборотов ротора;

с гравитационной выгрузкой (саморазгружающиеся); осадок выгружается под действием собственного веса во время остановки ротора;

со шнековой выгрузкой — с помощью шнека, вращающегося относительно ротора непрерывно при непрерывной работе машины;

с поршневой выгрузкой осадка толкателем, совершающим возвратно-поступательное (пульсирующее) движение вдоль оси ротора при непрерывной работе машины;

с центробежной (инерционной) выгрузкой; осадок выгружается под действием центробежных сил непрерывно при непрерывной работе машины;

с вибрационной выгрузкой; осадок выгружается непрерывно под действием колебаний вращающегося ротора;

с вибрационно-поршневой выгрузкой; осадок выгружается непрерывно под действием колебаний вращающегося ротора и толкания осадка поршнем;

с гидравлической выгрузкой; влажный осадок и жидкая фаза выгружаются через сопла или отверстия ротора при рабочей скорости последнего.

Способ проведения процесса (непрерывно или периодически):

Непрерывно действующими являются центрифуги при следующих способах выгрузки осадка: шнековой, пульсирующими поршнями, под действием инерционных сил (фильтрующие центрифуги), гидравлической. Остальные центрифуги являются периодически действующими и могут быть полностью или частично автоматизированы.

Конструкции центрифуг весьма различны.

Основные отличия конструкций относятся к устройству и расположению опор вала, к конструкции ротора, к расположению оси центрифуги и т. д.

От способа выгрузки осадка из ротора центрифуги в большой степени зависит течение процесса центрифугирования. Способ выгрузки часто обуславливает требования к характеристикам исходного и готового продукта и т. д. Поэтому способ выгрузки продуктов разделения из центрифуги является одной из важнейших ее характеристик.

В значительной степени конструкцию центрифуги определяет расположение ее оси в пространстве, часто связанное со способом выгрузки осадка.

По основному конструктивному признаку центрифуги бывают:

с горизонтальным валом, имеющим жесткие или упругие опоры;

ротор может быть расположен между опорами или на консоли (горизонтальные центрифуги);

с вертикальным валом, имеющим жесткие опоры (вертикальные центрифуги);

с наклонным валом, имеющим жесткие опоры (наклонные центрифуги);

с вертикальным валом, имеющим упругую верхнюю опору и жесткую шарнирную нижнюю опору; ротор закрепляется на верхнем конце вала (вертикальные с подпертым валом и упругой верхней опорой);

с вертикальным валом, подвешенным на верхней шарнирной упругой опоре; ротор закрепляется на нижнем конце вала (подвесные центрифуги с верхним приводом);

вертикальным валом, опоры которого помещены в общий жесткий корпус, подвешенный на трех колонках; ротор закреплен на верхнем конце вала (маятниковые центрифуги);

вертикально подвешенным длинным трубчатым ротором (вертикальные трубчатые центрифуги).

В зависимости от степени герметизации, взрывозащищенности и соблюдения специальных требований (модификации) различают следующие исполнения центрифуг:

Негерметизированное — без специальных уплотнительных устройств, изолирующих рабочие полости машины от внешней среды с электрооборудованием обычного исполнения. Применяется для обработки нетоксичных, нелетучих, огне- и взрывобезопасных продуктов во взрывобезопасных производствах;

Негерметизированное с взрывозащищенным электрооборудованием — без специальных уплотнительных устройств, изолирующих рабочие полости машины от внешней среды, с электрооборудованием во взрывозащищенном исполнении. Применяется для обработки нетоксичных, нелетучих, огне- и взрывобезопасных продуктов во взрывоопасных производствах;

герметизированное взрывозащищенное — с изоляцией рабочих полостей машины от внешней среды, электрооборудованием во взрывозащищенном исполнении и поддувом инертного газа под избыточным

давлением от 0,01 до 0,1 кгс/см² в полость кожуха. Применяется в огне- и взрывоопасных производствах;

герметизированное — с изоляцией внутренних рабочих полостей кожуха от внешней среды и электрооборудованием во взрывозащищенном исполнении. Применяется для работы под избыточным давлением более 0,1 кгс/см²;

с обогревом или охлаждением — со специальными устройствами для подогрева (охлаждения) кожуха или ротора машины и с электрооборудованием в обычном или взрывозащищенном исполнении;

капсулированное — вся машина, за исключением привода, помещена в герметичную оболочку;

специальное — для работы в специальных условиях.

Приведенной основной классификации отечественных центрифуг соответствуют принятые условные обозначения, в которых кроме перечисленных признаков указываются:

конструкция ротора (одинарный, сдвоенный, с числом каскадов 1, 2, 5, многокаскадный и т. д.);

размер рабочего диаметра ротора в см. (для центрифуг с коническим ротором — максимальный внутренний диаметр; для центрифуг с многокаскадным ротором — внутренний диаметр первого каскада).

Материал основных деталей центрифуги, непосредственно соприкасающихся с обрабатываемым продуктом; порядковый номер модели.

Ниже приведена схема построения условных обозначений промышленных центрифуг.

1.4 Характеристики суспензий и эмульсий

Главными факторами, определяющими выбор центрифуг и показатели их работы, являются технические характеристики и физические свойства обрабатываемого материала. [5]

Гранулометрический (дисперсный) состав твердой фазы. Эта характеристика имеет решающее значение при выборе центрифуги. Чем мельче частицы твердой фазы в обрабатываемой суспензии, тем меньшей производительности центрифуги можно ожидать и тем большим должен быть фактор разделения. С другой стороны, от абсолютного содержания мелких частиц в суспензии зависит количество их в фугате (фильтрате). Это в одинаковой степени относится и к фильтрующим, и к отстойным центрифугам. Гранулометрический состав фазы обычно определяется методом ситового анализа при крупности частиц более 100 мкм и специальными методами дисперсионного анализа — при более мелких частицах.

Принята следующая условная классификация дисперсных систем в зависимости от размера частиц (в мкм):

Крупноизмельченные 10000—1000

Среднеизмельченные 1000—100

Мелкоизмельченные 100—10

Тонкоизмельченные 10—0,1

Коллоидные 0,1—0,001

Вязкость жидкой фазы. С увеличением вязкости производительность центрифуг уменьшается. В некоторых случаях для уменьшения вязкости жидкой фазы прибегают к нагреву суспензии. Полезен и нагрев эмульсий, который не только уменьшает вязкость, но и снижает стойкость эмульсии, увеличивая производительность центрифуги.

Эффективная плотность твердой фазы. Чем больше разность между плотностями твердой и жидкой фазы (эффективная плотность), тем выше производительность отстойной центрифуги. При сепарировании эмульсий производительность центрифуги также увеличивается с увеличением разности плотностей компонентов эмульсии. При центробежном фильтровании эффективная плотность твердой фазы практического значения не имеет.

Концентрация суспензии. Под концентрацией суспензии понимают отношение количества нерастворенной твердой фазы, содержащейся в

суспензии, к общему количеству суспензии. Концентрация суспензии может быть выражена в массовых (весовых) или объемных процентах. Концентрация суспензии обязательно должна учитываться при выборе центрифуги и режима ее работы. Так, при концентрации не более 1 объемн. % целесообразно применять для осветления суспензий трубчатые центрифуги с малым объемом грязевого пространства. Центрифуги с пульсирующей выгрузкой осадка, наоборот, не могут быть использованы при малой концентрации твердой фазы в суспензии.

2 Центрифугирование в системе очистке буровых растворов

2.1 Применение центрифуг

Центрифуги широко используются в очистке буровых растворов. Они особенно удобны в тех случаях, когда разделяемая суспензия содержит большое количество примесей. [6]

Применение центрифуг позволяет избавиться от ряда недостатков, присущих фильтрационному методу очистки. Мелкодисперсные составляющие суспензии и шламов, наличие которых обусловлено минеральным составом руды и механическим помолом, в первые моменты процесса фильтрования делают раствор мутным, так как проходят сквозь поры фильтрующего элемента. Лишь спустя некоторое время, когда накопленные крупные частицы образуют дополнительный слой, фильтрование становится эффективным. По мере накопления слоя осадка снижается производительность фильтра, поэтому требуется провести механическую очистку фильтрующего элемента, на время которой технологический процесс очистки прекращается. Получить осадки с минимальной влажностью, так как осадок на фильтре остается слишком влажным и требует промывки вытесняющим раствором.

2.2 Осадительные центрифуги со шнековой выгрузкой осадка

Большой практический интерес представляют центрифуги со шнековой выгрузкой осадка. Основным достоинством центрифуг со шнековой выгрузкой осадка является возможность непрерывной работы. [4] В них использован принцип дифференциального вращения двух концентрических роторов, причем в наружном производится центрифугирование, а внутренний служит для крепления спиральной ленты или лопаток, расположенных по винтовой линии. При небольшой разнице в частотах вращения роторов осадок, образующийся на стенках наружного ротора, транспортируется спиральной лентой или

лопатками к выгрузочным окнам, через которые он выбрасывается в приемник. В то время как суспензия течет в роторе от узкого его конца к широкому, образующийся осадок шнеком транспортируется в противоположном направлении. При этом на пути к выгрузке он проходит через зону осушки, где теряет часть жидкой фазы. Осадительные шнековые центрифуги применяют главным образом для разделения суспензий, а также в качестве классификатора. Регулируя производительность, получают фугат, содержащий твердую фазу определенной дисперсности; грубые фракции с небольшим количеством высокодисперсных частиц удаляются из ротора в виде подсушенного осадка. Центрифуги со шнековой выгрузкой изготавливают с роторами цилиндрической и конической формы. В последнем случае осадок транспортируется от узкого конца ротора к широкому. Благодаря этому сокращается непроизводительный расход энергии на выгрузку осадка, а осадок измельчается в меньшей степени.

2.3 Расчет центрифуги. Данные для расчета

Принцип работы центрифуги - непрерывного действия.[4],[7]

Данные для расчета приведены в таблице 2.1

Таблица 2.1– Данные для расчета

Производительность по суспензии, кг/ч	2300
Содержание твердой фазы в исходной суспензии x_T , % мас.	5
Конечная влажность, % мас.	15
Наименьший диаметр частиц, мкм	1
Плотность твердой фазы, кг/м ³	3500
Плотность жидкой фазы, кг/м ³	1600

2.4 Материальный баланс

Определим расход жидкой фазы:

$$m_{\text{ж}} = m_{\text{сусп}} \cdot (1 - x_{\text{т}}) = 2300 \cdot 0,95 = 2185 \text{ кг/ч}$$

Здесь $m_{\text{сусп}}$ - производительность по суспензии, кг/ч.

Расход твердой фазы

$$m_{\text{ТВ}} = m_{\text{сусп}} \cdot x_{\text{т}} = 2300 \cdot 0,05 = 115 \text{ кг/ч}$$

Расход твердого осадка с остаточной влажностью равен

$$m_{\text{ТВ}}^1 = m_{\text{ТВ}} (1 + 0,15) = 115 \cdot 1,15 = 132,25 \text{ кг/ч}$$

Расход осветленной жидкости равен

$$m_{\text{ж}}^1 = m_{\text{сусп}} - m_{\text{ТВ}}^1 = 2300 - 132,25 = 2167,75 \text{ кг/ч}$$

Таблица 2.2 – Материальный баланс центрифуги

Приход			Расход		
Статьи прихода	Кол-во кг	%	Статьи расхода	Кол-во кг	%
1 Твердая фаза	115	5	1 Шлам	132,25	5,4
2 Жидкая фаза	2185	95	2 Осветленная жидкость	2167,7	94,6
Итого:	2300	100	Итого:	2300	100

Поскольку материальный баланс сошелся, значит, расчеты были произведены, верно.

2.5 Конструктивный расчет

Перед конструктивным расчетом необходимо отметить следующие особенности рассматриваемого процесса:[7]

небольшое содержание твердой примеси в исходной суспензии;

довольно высокая необходимая производительность;

необходимость постоянной выгрузки осадка в течение всего процесса центрифугирования;

простота и распространенность конструкции, доступность методик расчета;

низкая влажность шлама;

герметичность.

Принимая во внимание вышеперечисленные факторы, выбираем осадительную центрифугу непрерывного действия с горизонтальной осью и шнековой выгрузкой осадка.

Рассчитаем объемную производительность центрифуги по суспензии.

Плотность суспензии определится:

$$\rho_c = \frac{\rho_{тв} \cdot \rho_{ж}}{\rho_{тв} - x_t(\rho_{тв} - \rho_{ж})} = \frac{3500 \cdot 1600}{3500 - 0,05(3500 - 1600)} = 1644,6 \text{ кг/м}^3 \quad (2.1)$$

где ρ_t и $\rho_{ж}$ - плотности твердой и жидкой фазы соответственно, кг/м^3 ,

x_t - содержание твердой фазы в исходной суспензии, в % масс.

Объемная производительность по суспензии, равна:

$$V_{об} = \frac{m_{сусп}}{\rho_c} = \frac{2300}{1644,6} = 1,4 \text{ м}^3/\text{ч} = 3,9 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с} \quad (2.2)$$

Проанализировав раздел основы центрифугирования, установили, что для данного типа центрифуг при заданной производительности фактор разделения находится в промежутке 1500 – 2500.

Фактор разделения, показывающий, во сколько раз центробежное ускорение превышает ускорение силы тяжести g , равен:

$$\Phi_p = \frac{n^2 \cdot R}{900} = \frac{\omega^2 \cdot R}{g} \quad (2.3)$$

где ω - угловая скорость ротора в рад/с;

n - частота вращения в об/мин;

g - ускорение силы тяжести в м/сек²;

R - радиус ротора, м.

Производительность непрерывно действующих центрифуг, определяется по формуле:

$$V = \beta \cdot \frac{(\rho_{ТВ} - \rho_{Ж}) \cdot d^2 \cdot \omega^2 \cdot \pi \cdot L_{сл} \cdot R_{сл}^2}{18 \cdot \mu} \cdot \frac{1}{2} \left(1 + \frac{R}{R_{сл}} \right)^2 \quad (2.4)$$

где β - коэффициент, учитывающий допущения и неподдающиеся учету факторы при определении скорости осаждения частиц и индекса производительности, принимаем $\beta = 0,4$;

d - минимальный размер осаждаемых частиц, м;

$\rho_{ТВ}, \rho_{Ж}$ - плотности твердой и жидкой фазы соответственно, кг/м³;

μ - вязкость среды, Па·с;

$$L_{сл} = L_{ко} + L_{ц} \quad (2.5)$$

где $L_{ц}$ - длина цилиндрической части ротора, м;

$L_{ко}$ - длина конической части ротора в зоне осаждения, м;

$R_{сл}$ - радиус слива, принимаем $R_{сл} = R/1,25$ м.

Общая длина ротора центрифуг типа НОГШ, используемых для обезвоживания осадка находится из соотношения

$$\frac{L}{D} = 1,5 \dots 1,8 \quad (2.6)$$

Так как необходимая влажность шлама должна быть минимальной, то принимаем $L=1,8D$.

Длина цилиндрической части ротора берется из равенства $L_{ц} = (0,7 - 1)D$.

Принимаем среднее $L_{ц} = 0,85D = 1,7R$.

Длина конической части ротора в зоне осаждения берется из равенства

$$L_{ко} = \frac{R - R_{сл}}{tg \alpha} \quad (2.7)$$

где α - наклон конической части ротора, принимаем $\alpha=14^\circ$.

Тогда, выразив угловую скорость через фактор разделения и преобразовав уравнение производительности с учетом принятых соотношений, получим;

$$\begin{aligned} R &= \sqrt{\frac{V \cdot \mu}{0,225 \cdot \beta \cdot (\rho_{тв} - \rho_{ж}) d^2 \cdot \pi \cdot \Phi_p \cdot g}} = \\ &= \sqrt{\frac{3,9 \cdot 10^{-4} \cdot 0,79 \cdot 10^{-3}}{0,225 \cdot 0,4 \cdot (3500 - 1600) \cdot 10^{-12} \cdot 3,14 \cdot 2000 \cdot 9,81}} = \\ &= 0,1711 \text{ м} \end{aligned} \quad (2.8)$$

Угловая скорость вращения ротора;

$$\omega = \sqrt{\frac{\Phi_p - g}{R}} = \sqrt{\frac{2000 \cdot 9,81}{0,1711}} = 338,6 \text{ рад/с} \quad (2.9)$$

Найдем геометрические размеры ротора;

$$D = 2R = 2 \cdot 0,171 = 0,342 \text{ м}$$

Принимаем $D=350$ мм.

$$L = 1,8 \cdot 350 = 630 \text{ мм}$$

$$L_{\text{ц}} = 0,85D = 0,85 \cdot 350 = 297,5 \text{ мм}$$

Принимаем $L_{\text{ц}} = 300$ мм.

$$D_{\text{сл}} = 2R_{\text{сл}} = \frac{D}{1,25} = \frac{350}{1,25} = 280 \text{ мм}$$

$$L_{\text{ко}} = \frac{R - R_{\text{сл}}}{\text{tg}\alpha} = \frac{175 - 140}{\text{tg}14^\circ} = 140 \text{ мм}$$

Тогда длина слива, равная длине зоны осаждения, будет;

$$L_{\text{сл}} = L_{\text{o}} = L_{\text{ко}} + L_{\text{ц}} = 140 + 300 = 440 \text{ мм}$$

Длина зоны сушки осадка;

$$L_{\text{с}} = L - L_{\text{o}} = 630 - 440 = 190 \text{ мм}$$

Длина зоны сушки осадка, необходимая для получения заданной влажности шлама, определяется экспериментально. Поэтому, в нашем случае, будем считать, что найденное значение $L_{\text{с}}$ достаточно для получения шлама с остаточной влажностью 15%.

Объем ротора занятый суспензией определится по формуле:

$$V_c = \pi(R^2 - R_{\text{сл}}^2) \left(L_{\text{ц}} + \frac{L_{\text{ко}}}{2} \right) = 3,14(0,175^2 - 0,14^2) \left(0,3 + \frac{0,14}{2} \right) = 0,0128 \text{ м}^3 \quad (2.10)$$

Объемная концентрация твердой фазы в суспензии равна:

$$x_v = \frac{x_T \cdot \rho_{\text{ж}} \cdot 100}{\rho_{\text{ТВ}} - x_T(\rho_{\text{ТВ}} - \rho_{\text{ж}})} = \frac{0,05 \cdot 1600 \cdot 100}{3500 - 0,05(3500 - 1600)} = 2,35\% \quad (2.11)$$

Объем ротора занятый твердой фазой;

$$V_T = V_c \cdot x_v = 0,0128 \cdot 0,0235 = 3 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3 \quad (2.12)$$

Мощность на сообщение кинетической энергии жидкой фазе суспензии определяется:

$$N_{\text{ж}} = \frac{\varphi \cdot (\alpha - \beta) \cdot \rho_{\text{ж}} \cdot \omega^2 \cdot V_{\text{ж}} \cdot R_{\text{сл}}^2}{2 \cdot 10^3} \quad (2.13)$$

$$\varphi = \frac{R^2 - R_{\text{сл}}^2}{R^2} = \frac{175^2 - 140^2}{175^2} = 0,36 \quad (2.14)$$

$$\alpha = \frac{\rho_{\text{ТВ}} - \rho_{\text{сусп}}}{\rho_{\text{ТВ}} - \rho_{\text{ж}}} = \frac{3500 - 1644}{3500 - 1600} = 0,98 \quad (2.15)$$

$$\beta = \frac{\rho_{\text{ТВ}} - \rho_{\text{осадка}}}{\rho_{\text{ТВ}} - \rho_{\text{ж}}} = \frac{1}{3500 - 1600} = 5,24 \cdot 10^{-4} \quad (2.16)$$

где φ - степень заполнения ротора, равная;

β - коэффициент, характеризующий содержание жидкой фазы в осадке, равный;

α - коэффициент, характеризующий содержание жидкой фазы в суспензии, равный;

так как $\rho_{ТВ} \approx \rho_{осадка}$

$V_{ж} = V_c$ - жидкостной объем ротора центрифуги, м³;

$r_{сл}$ - радиус слива, м

$$N_{ж} = \frac{0,36 \cdot 0,98 \cdot 1600 \cdot (338,6)^2 \cdot 0,0128 \cdot 0,14^2}{2 \cdot 10^3} = 8,1 \text{ кВт}$$

Мощность на сообщение кинетической энергии твердой фазе суспензии $N_{ТВ}$ примем равной нулю из-за незначительного ее содержания.

Мощность на преодоление сил трения ротора о воздух определяется:

$$N_{в} = c \cdot \rho_{в} \cdot L \cdot \omega^2 \cdot R_{н} \quad (2.17)$$

где $c = 12 \cdot 10^6$ - коэффициент, характеризующий влияние всех неизвестных факторов (неучтенных факторов);

$\rho_{в} = 1,3 \text{ кг/м}^3$ - плотность воздуха;

$R_{н}$ - средний радиус наружной поверхности ротора, примем $R_{н} = R$

L - длина ротора.

Тогда
$$N_{в} = 12 \cdot 10^3 \cdot 1,3 \cdot 0,63 \cdot (338,6)^2 \cdot 0,35 = 0,4 \text{ кВт}$$

Шнековая центрифуга требует мощность на перемещение осадка в цилиндрической части ротора

$$N_{ц} = \Phi_p \cdot 2 \cdot \pi \cdot \left(\frac{Q_{ос} \cdot g}{t_{ш}} \right) \cdot R \cdot L \cdot \frac{\rho_{ТВ} - \rho_{ж}}{\rho_{ТВ}} \cdot tg(\beta_{ц} + \varphi_{тр}) \quad (2.18)$$

и в конической части ротора

$$N_{к} = \frac{D_{ос}}{\rho_{ТВ}} \cdot [(R_{сл}^3 - r_{ос}^3) + (\rho_{ТВ} - \rho_{ж}) \cdot (R^3 - r_{ос}^3)] \quad (2.19)$$

где $Q_{ос}$ - производительность центрифуги по осадку, кг/с;

$t_{ш}$ - шаг шнека, предварительно примем 0,1 м;

$$\beta_{\text{ц}} = \arctg\left(\frac{t_{\text{ш}}}{\pi \cdot D_{\text{ш}}}\right) \quad (2.20)$$

угол подъема винтовой линии шнека;

Здесь $D_{\text{ш}}$ - диаметр вала шнека. Примем $D_{\text{ш}} = 0,15$ м.

$$\varphi_{\text{тр}} = \arctg(f_{\text{ш}}) \quad (2.21)$$

угол трения осадка о поверхность ротора;

$$f_{\text{ш}} = f = 0,1 \quad (2.22)$$

коэффициент трения осадка о внутреннюю поверхность ротора;

$D_{\text{ос}}$ - коэффициент, зависящий от конструкции, производительности и принципа работы центрифуги, определяемый по формуле:

$$D_{\text{ос}} = \frac{2 \cdot \pi \cdot Q_{\text{ос}} \cdot \omega^2}{3 \cdot t_{\text{ш}}} \cdot (\sin\alpha \pm f \cdot \cos\alpha) \cdot \cos\alpha \cdot \tg(\beta_{\text{ср}} + \varphi_{\text{тр}}) \cdot \tg\alpha \quad (2.23)$$

где «+» для осадительных центрифуг; «-» для фильтрующих;

α - угол между образующей конуса и его осью;

$\beta_{\text{ср}}$ - средний угол подъема винтовой линии шнека в конической части ротора, можно принять $\beta_{\text{ср}} = \beta_{\text{ц}}$

$$\beta_{\text{ц}} = \arctg\left(\frac{0,1}{3,14 \cdot 0,15}\right) = 0,22$$

$$D_{\text{ос}} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 2300 \cdot (338,6)^2}{3 \cdot 3600 \cdot 0,1} \cdot (\sin 14^\circ + 0,1 \cdot \cos 14^\circ) \cdot \cos 14^\circ \cdot \tg(0,22 + 0,1) \cdot \tg 14^\circ = 41526$$

$$N_{\text{ц}} = 2000 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot \left(\frac{2300 \cdot 9,81}{3600 \cdot 0,1}\right) \cdot 0,35 \cdot 0,63 \cdot \frac{3500 - 1600}{3500} \cdot \tg(0,22 + 0,1) = 0,68 \text{ кВт}$$

$$N_k = \frac{41526}{3500} \cdot [((0,175)^3 - (0,14)^3) + (3500 - 1600) \cdot ((0,175)^3 - (0,16)^3)] = 0,41 \text{ кВт}$$

Для определения необходимой мощности на период работы $N_{\text{раб}}$ необходимо просуммировать соответствующие составляющие:

$$N_{\text{раб}} = N_{\text{ж}} + N_{\text{т}} + N_{\text{в}} + N_{\text{ц}} + N_{\text{к}} = 8,1 + 0,4 + 0,68 + 0,41 = 9,6 \text{ кВт} \quad (2.24)$$

Необходимая мощность двигателя больше $N_{\text{раб}}$ на 10 – 20% из-за потерь мощности на трение в уплотнениях и опорах, на выгрузку осадка и т. п.:

$$N_{\text{дв}} = N_{\text{раб}} \cdot 1,1 = 7,6 \cdot 1,1 = 10,6 \text{ кВт}$$

2.6 Расчет момента инерции ротора

Схема ротора шнековой осадительной центрифуги приведена на рис. 2.1.

Ротор состоит из тонкостенной оболочки 3 цилиндрической формы с фланцами 2 и 4 по концам, которые болтами крепятся к цапфам 1 и 5, установленным в коренных опорах. Левая цапфа со стороны большого диаметра ротора имеет отверстия а для слива фугата; правая цапфа и малый фланец оболочки-прорези б для выхода твердой фазы. Обе цапфы снабжены также шейками в для установки подшипников шнека.

Поскольку весь узел ротора может быть расчленен на элементарные тела вращения (оболочки, диски, толстостенные трубы, пластины, фланцы), то для расчета можно применить теоритческие расчеты, широко освещенные в литературе [7].

Особенностью рассматриваемой конструкции является то, что оболочка ротора соединена фланцами по концам к днищу и крышке. Фланцы в осадительном роторе, помимо того что воспринимают давление разделяемой суспензии, обеспечивая нераскрытие стыков и жесткость системы, работают в

центробежном поле, испытывая на себе воздействие распределенных массовых сил, подобно вращающемуся кольцу или диску.

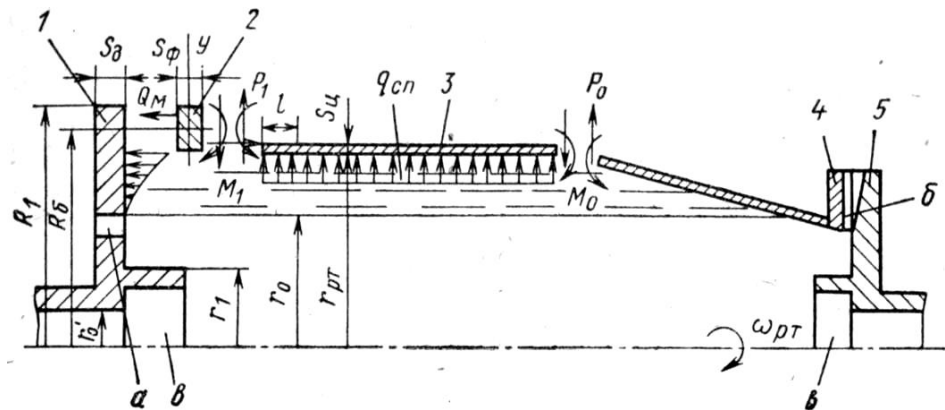


Рисунок 2.1 - Расчетная схема ротора осадительной центрифуги

Указанная особенность фланцевого соединения и ротора может проанализирована известным методом сил. Приняв расположение краевых сил F_1 и моментов M_1 со стороны большого фланца в соответствии с (рис. 2.1), перемещений для оболочки и фланца от действия всех силовых факторов (центробежных сил, давления суспензии $q_{сп}$, меридиональных сил Q_m), определим, что силовые факторы по теоретическим расчетам [7], выведены в предположении, что цилиндрическая оболочка ротора является длинной, и конический участок не влияет на перемещения со стороны большого фланца. Это допущение вполне правомерно для роторов шнековых осадительных центрифуг, поскольку для них справедливо известное соотношение для длины цилиндрического участка характерных для длинных оболочек:

$$L_{ц} \geq 2.5\sqrt{r_{пт}S_{ц}} \quad (2.25)$$

где: $L_{ц}$ - длина цилиндра

$r_{пт}$ - внутренний радиус цилиндрической оболочки

$S_{ц}$ - толщина цилиндрической оболочки

Практика расчета и конструирования роторов шнековых осадительных центрифуг показывает, что нет необходимости раскрывать статическую неопределенность зоны соединения цилиндрической и конического участков оболочки. Угол конусности этих роторов, как известно не превышает 15°, а в нашем случае 14°. Последнее обстоятельство приводит к тому, что перемещения широкого края конуса практически имеют те же значения, что и цилиндрическая оболочка; поэтому краевая сила P_0 и момент M_0 минимальны и не влияют существенно на напряженное состояние.

Исходя из выше сказанного, при расчете момента инерции ротора конусной частью ротора можно пренебречь. Так как ротор имеет, по сути, форму полого цилиндра, тогда можно применить теорему Штайнера, для расчета момента инерции для полого цилиндра широко освещенные в литературе [8],[9] (рис. 2.2), из которой следует что:

$$J = \frac{1}{2} M (r_1^2 + r_2^2) \quad (2.26)$$

где: M - масса цилиндра, кг.

r_1 - внутренний радиус цилиндра, м.

r_2 - наружный радиус цилиндра, м.

Масса цилиндра M находится по формуле:

$$M = \rho \cdot h \cdot \pi (r_1^2 + r_2^2) \quad (2.27)$$

где: ρ - плотность материала цилиндра, кг/м³.

h - высота цилиндра м,

$\pi = 3.14$

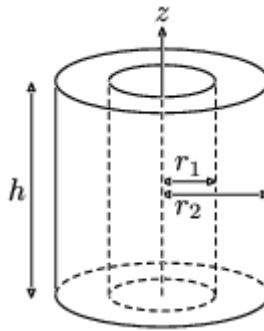


Рисунок 2.2 – Цилиндр

Исходя из данных по расчету центрифуги:

h - высота цилиндра это длина ротора соответственно $L = 0,63$ м.

r_2 - наружный радиус цилиндра находится из D_p - (диаметр ротора) $= 0,35$ м соответственно $r_2 = 0,175$ м

r_1 - радиус внутренний цилиндра находится из условий, по которым толщина стенки ротора 4 мм

Соответственно: $r_1 = 0,175 - 0,004 = 0,171$ м

ρ - плотность материала в нашем случае это сталь 12X18H10T соответствует 7920 кг/м^3

Тогда масса цилиндра:

$$M = 7920 \cdot 0,63 \cdot 3,14((0,175^2) - (0,171^2)) = 21,68 \text{ кг}$$

Момент инерции:

$$J = \frac{1}{2} \cdot 21,68((0,175^2) + (0,171^2)) = 0,6489 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

3 Центрифуга GEA

3.1 Общие сведения и принцип работы центрифуги

Центрифуга GEA – осадительная, горизонтальная, непрерывного действия со шнековой выгрузкой осадка. Центрифуги данного типа предназначены для разделения суспензий высокой и средней дисперсности при обработке продуктов. [3],[5].

На установке очистки буровых растворов от механических примесей центрифуги GEA применяются для отделения твердой фазы от жидкой. Основным узлом центрифуги является ротор цилиндрической формы, расположенный горизонтально. Вращение ротора осуществляется от двигателя посредством клиноременной передачи. Внутри ротора соосно расположен шнек, предназначенный для транспортирования выпадающего осадка твердой фазы к выгрузочным окнам ротора. Вращение шнеку сообщается ротором через специальный планетарный редуктор или дополнительным приводом. Шнек вращается в ту же сторону, что и ротор, но с меньшей скоростью. Разность в скорости вращения шнека и ротора необходима для принудительного перемещения осадка вдоль внутренней поверхности ротора. Через правые цапфы ротора и шнека проходит питатель, по которому подводится суспензия во внутреннюю полость шнека, представляющую собой камеру; из камеры суспензия через окна в обечайке поступает в ротор. Под действием центробежных сил в суспензии происходит отделение твердой фазы от жидкой. Твердая фаза выпадает на стенки ротора и транспортируется шнеком по направлению к конической части ротора. В конце пути движения осадка к выгрузочным окнам, в зоне обезвоживания, происходит отжим влаги из осадка. Под действием центробежных сил твердая фаза выбрасывается через выгрузочные окна ротора в приемочный отсек осадка кожуха центрифуги. Осветленная фаза выдается из центрифуги через приемный бункер фугата.

Процесс отделения твердой фазы от жидкой, выгрузка осадка и слив фугата при подаче исходного раствора, происходит непрерывно.

3.2 Описание устройства и составных частей центрифуги

Центрифуга состоит из следующих основных узлов (рис.3.1): ротора, шнека, редуктора, главного привода, дополнительного привода, опор ротора, станины, кожуха, питателя, торцевых уплотнений, амортизаторов.

Ротор в собранном виде состоит из цилиндроконического барабана и двух цапф.

Подшипники шнека, размещенные в цапфах, закрыты крышками, в которых запрессованы манжетные уплотнения. В левой цапфе выполнены отверстия для слива фугата. Радиус сливного порога ротора регулируется полукольцами, которые крепятся на станине.

Шнек является одним из основных частей центрифуги и предназначен для транспортировки осажденной твердой фазы в процессе ее отделения от жидкой фазы и для выгрузки осадка.

Шнек состоит из полого цилиндрического барабана и наваренных на наружную поверхность витков. Шнек двухзаходный, направление витков левое. Внутри полого барабана вварен рассекатель и перегородки, образующие собой камеру. Камера имеет окна для подачи суспензии в ротор. С правой стороны в камеру через полу цапфу ротора входит питатель.

Очищенный раствор перемещается различными способами посредством центробежного насоса, под давлением через выходной патрубок или под действием силы тяжести стекает через выходной канал.

Двухдвигательный привод позволяет экономично регулировать разность скоростей в нормальных рабочих условиях; предусмотрен широкий диапазон регулировки (рис.3.2) . Вторичный двигатель вращает входной вал редуктора и создает разность скоростей, зависящую от скорости барабана и передаточного соотношения. Разность скоростей легко регулировать путем изменения скорости двигателя. Приводы такого типа используются при существенных флуктуациях содержания твердого вещества, при сложных условиях его

перемещения, и при очень высоких требованиях к остаточному содержанию влаги.

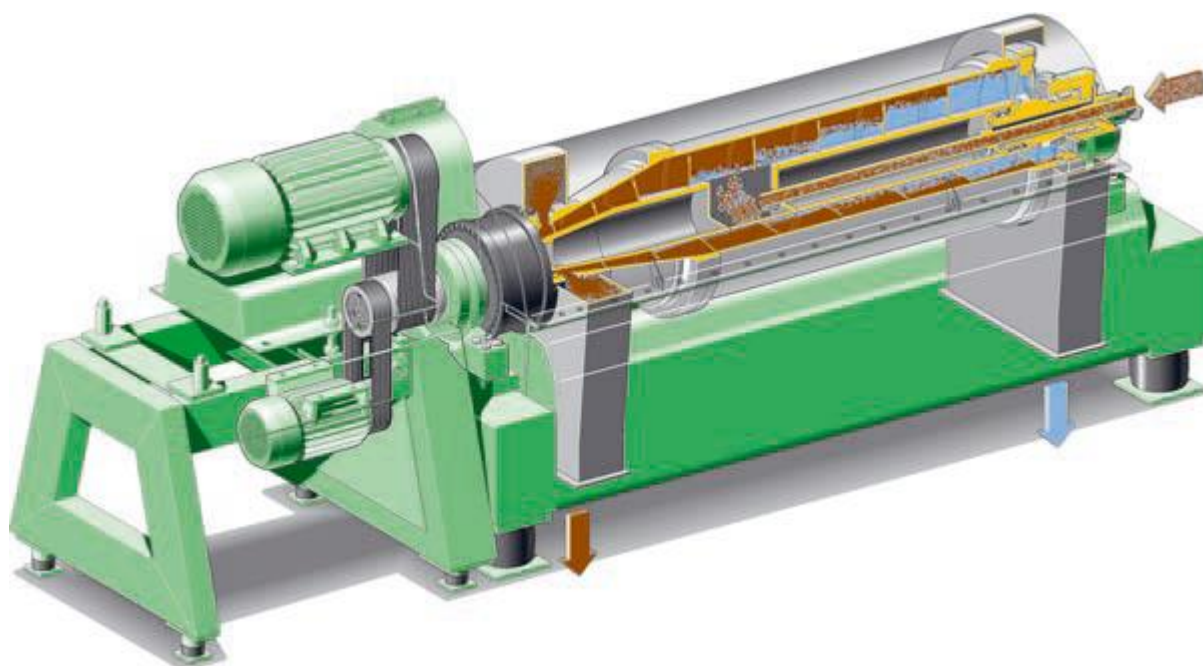


Рисунок 3.1 – Устройство горизонтальной центрифуги

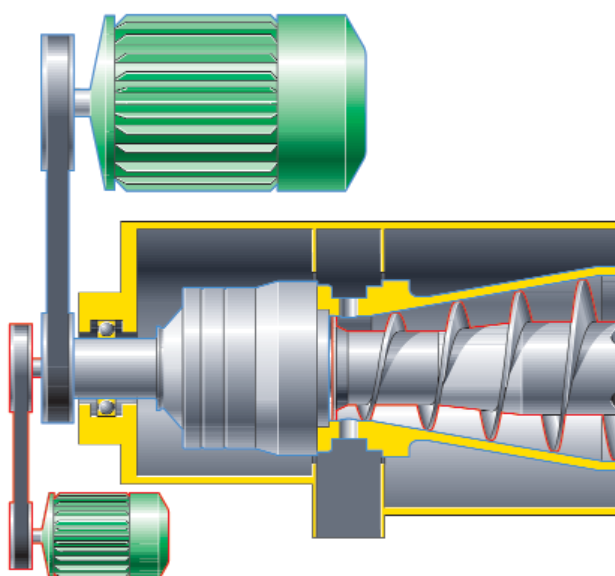


Рисунок 3.2 – Двухдвигательный привод

Ротор и шнек вращаются независимо друг от друга. Скорость вращения шнека определяется диаметром шкива. При превышении допустимой нагрузки, возрастает ток двигателей главного и дополнительного приводов – срабатывает реле максимального тока, электродвигатели останавливаются.

Главный привод центрифуги осуществляется от двигателя, установленного на кронштейне с плитой и клиноременную передачу. Ротор центрифуги и станина

Ротор центрифуги своими цапфами опирается на две опоры. Каждая из них состоит из корпуса, крышек и подшипника. Опоры крепятся к станине центрифуги шпильками. Положение опоры на станине фиксируется коническими штифтами. Смазка опор – консистентная.

Станина представляет собой массивное металлическое основание, которое служит для крепления основных узлов центрифуги и гашения возникающих вибраций.

Кожух служит для отдельного отвода фугата и осадка, закрывает вращающиеся части центрифуги. Кожух разъемный: состоит из основания и крышки, которая откидывается на петлях. Основание кожуха жестко крепится к станине болтами. Крышка к основанию притягивается болтами. Герметизация кожуха по линии разъема осуществляется резиновым шнуром, а со стороны опор ротора – за счет торцевых уплотнений, установленных на коренных опорах. На выгрузочных бункерах кожуха установлены резиновые диафрагмы, обеспечивающие свободное перемещение центрифуги на резиновых амортизаторах и предотвращающие передачу вибрации на трубопроводы. Питатель предназначен для подачи суспензии в центрифугу.

Торцевые уплотнения кожуха и питателя предназначены для герметизации центрифуги в местах выхода из кожуха цапф ротора и ввода в центрифугу питателя. Основные технические данные торцевого уплотнения:

-) уплотняемая среда – коррозионная (с брызгами жидкости);

-) рабочее давление:

в центрифуге – до 0,02 МПа (0,2 кгс/см²);

в камере уплотнения – до 0,2 МПа (2 кгс/см²);
в рубашке корпуса уплотнения – до 0,6 МПа (6,0 кгс/см²);
давление пробное (гидравлическое) – 0,3 МПа (3,0 кгс/см²);
температура среды в центрифуге – до +400С °;
-) частота вращения вала - 1500 об/мин;
-) максимальная температура в уплотнении на выходе:
запирающей жидкости - +700С °;
охлаждающей жидкости - +400С °.

Корпус уплотнения вместе с крышкой, неподвижными и вращающимися кольцами образуют полость уплотнения. В полость уплотнения подается жидкость, которая одновременно является запирающей, охлаждающей и смазывающей (смазываются поверхности трения). В процессе работы под действием пружин, давления запирающей жидкости, поверхности трения вращающихся и неподвижных колец плотно прилегают друг к другу и создают надежную герметизацию вала аппарата.

3.3 Электрооборудование центрифуги

Электрооборудование центрифуги включает в себя:

-) электродвигатели приводов ротора, шнека
-) шкаф управления;
-) пульт управления и сигнализации.

Подключение электродвигателей выполнено через блоки управления, состоящие из автоматов, магнитных пускателей и тепловых реле. Контроль за нагрузкой центрифуги ведется по амперметру электродвигателя ротора, при токе выше допустимого срабатывает электротепловое реле в блоке управления – центрифуга останавливается, срабатывает сигнал аварийной остановки и звуковой сигнал.

3.4 Технические характеристики центрифуги

Таблица 2.3 Технические характеристики центрифуги GEA

№	Технические параметры	Единицы измерения	Значения параметров
1	Габариты и размеры центрифуги: длина ширина высота	мм мм мм	2630 1860 1135
2	Масса центрифуги	кг	2378
3	Производительность центрифуги: по суспензии по осадку Концентрация суспензии (объемная доля твердой фазы) Минимальный размер улавливаемых частиц	м ³ /ч т/ч % мкм	5 0,5 1-40 5
4	Техническая характеристика ротора: - диаметр внутренний (наибольший) - длина рабочая - отношение рабочей длины ротора к внутреннему максимальному диаметру - материал: сталь - толщина обечайки - номинальный объем - максимально допустимая загрузка - максимальная частота вращения - рабочая частота вращения - фактор разделения - радиус слива (сменный) - угол конуса	мм мм - - мм дм ³ кг об/мин об/мин - мм градус	350 1000 2,85 12X18H10T 12 34 41 4050 3000 1760 125-150 11°, 3°

	- максимальный момент, передаваемый редуктором	нм	2500
5	Динамическая нагрузка конструкции, не более	Н	200
7	Электродвигатель привода ротора, RA200L4: - мощность - ток - частота вращения	кВт А об/мин	30 57 1465
8	Электродвигатель дополнительного привода, RA132M4: - мощность -ток -частота вращения -диапазон регулирования оборотов шнека	кВт А об/мин об/мин	7,5 10,5 1455 $\pm 0...12$

4 Электропривод

4.1 Общие сведения

4.1.1 Назначение и функции электропривода

Электропривод (ЭП) является технической системой, служащей для преобразования электрической энергии в механическую, которая необходима для осуществления различных технологических процессов в промышленности, и других сферах деятельности человека. [11]

Большинство рабочих машин (РМ), агрегатов, технологических линий и комплексов приводится в движение электрическим приводом. Однако функции электропривода не ограничиваются только преобразованием энергии. Каждая рабочая машина нуждается в управлении: необходимо включать и выключать двигатели, приводящие в движение рабочие органы машины, изменять скорость и усилие на рабочих органах в соответствии с условиями осуществления технологического процесса, осуществлять необходимые защиты и блокировки, обеспечивающие безаварийную работу машин. В тех случаях, когда рабочая машина или технологический комплекс имеет несколько рабочих органов, каждый из которых приводится в движение своим электроприводом, в задачу управления входит согласование движений рабочих органов с требованиями технологического процесса. Управление рабочей машиной может осуществляться оператором вручную или автоматически посредством устройств автоматического или программного управления. Даже если рабочие машины управляются вручную, ряд функций управления обычно автоматизирован для облегчения работы оператора и более точного выполнения технологического процесса.

Вторую функцию электропривода можно определить, как управление движением исполнительных органов рабочей машины, причем это управление может осуществляться вручную с элементами автоматики или автоматически.

Сочетание двух функций электропривода: преобразования электрической энергии в механическую и управления переменными величинами, характеризующими механическую энергию (мощность, усилие, крутящий момент, скорость, ускорение, путь и угол перемещения), в целях рационального выполнения технологического процесса, выполняемого рабочей машиной, определяет назначение и роль электропривода в машинном производстве.

4.1.2 Структура электропривода

Электропривод — это техническая система, предназначенная, для приведения в движение рабочих органов машины, и целенаправленного управления рабочими процессами, и состоит из: электродвигательного, передаточного, преобразовательного и информационно-управляющего устройств.

Электродвигательное устройство - это электрический двигатель, преобразующий электрическую энергию в механическую, т.е. являющийся электромеханическим преобразователем энергии. Двигатели могут быть различными по виду создаваемого ими движения (вращательное, линейное, шаговое, вибрационные колебания и др.). Большинство используемых электродвигателей — это машины вращательного движения. Для передачи движения от электродвигателя к рабочему органу машины служит механическое передаточное устройство: редуктор, трансмиссия, ременная передача, канатная передача, кривошипно-шатунный механизм, и др. Передаточный механизм характеризуется коэффициентом передачи, представляющим собой отношение скорости на входе к скорости на выходе механизма.

4.1.3 Автоматизированный электропривод

Возрастающие технологические требования к качеству производственных процессов, необходимость внедрения высоких технологий обуславливают устойчивую тенденцию внедрения в различные отрасли промышленного и сельскохозяйственного производства регулируемых электроприводов. [12]

Развитие математической теории машин переменного тока, создание усовершенствованных силовых полупроводниковых приборов и преобразователей на их основе, использование современных средств управления, включая микропроцессорные, позволили создать высококачественные и надежные системы регулируемых асинхронных электроприводов, которые становятся основным видом регулируемого электропривода.

Для современного промышленного производства характерно широкое внедрение автоматизированного электропривода — основы механизации и комплексной автоматизации технологических процессов. Совершенствование систем автоматизированного электропривода с использованием новейших достижений науки и техники является одним из неперенных условий при решении задач повышения эффективности производства, ускорения роста производительности труда и улучшения качества выпускаемой продукции.

Широкое использование регулируемых электроприводов привело к тому, что современный электропривод является не только энергосиловой основой, позволяющей обеспечить производственные механизмы необходимой механической энергией, но и средством управления технологическими процессами, так как задачи по реализации качества производственных процессов в настоящее время в большинстве случаев возлагаются на системы управления регулируемые электроприводами в сочетании с системами технологической автоматики.

4.1.4 Энергосберегающий электропривод

В связи с возрастанием цен на энергоносители, в частности на электроэнергию, и ограниченными возможностями увеличения мощности энергогенерирующих установок проблема энергосбережения, в том числе снижения электропотребления, приобретает особую актуальность. [13]

Энергосбережение стало одним из приоритетных направлений технической политики.

Это связано, во-первых, с ограниченностью и невозобновляемостью основных энергоресурсов, во-вторых, с непрерывно возрастающими сложностями их добычи и стоимостью, в-третьих, с глобальными экологическими проблемами. Энергосбережение является наиболее дешевым и безопасным способом увеличения энергогенерирующих мощностей, так как затраты на экономию 1 кВт мощности обходятся в 4—5 раз дешевле, чем стоимость вновь вводимого 1 кВт мощности. Основные потери (до 90 %) приходится на сферу энергопотребления, в которой должны быть сконцентрированы основные усилия по энергосбережению электроэнергии. Так как электроприводы потребляют до 70 % вырабатываемой электроэнергии, наиболее существенная экономия электроэнергии может быть достигнута при использовании регулируемых электроприводов для управления технологическими процессами, что в сочетании с возможностями автоматизации может обеспечить оптимальное использование электроэнергии и других ресурсов. В связи с тем, что среди регулируемых электроприводов доминирующее положение занимают частотно-регулируемые асинхронные электроприводы, их массовое применение позволяет решать не только технологические задачи, но и проблему энергосбережения.

4.2 Состав электропривода ротора центрифуги

Основным узлом центрифуги является ротор цилиндрической формы, который в свою очередь приводится в движение электродвигателем посредством клиноременной передачи. [3],[5].

Внутри ротора соосно расположен шнек, предназначенный для транспортирования выпадающего осадка твердой фазы к выгрузочным окнам ротора. Вращение шнеку сообщается ротором через дополнительный привод. Шнек вращается в ту же сторону, что и ротор, но с меньшей скоростью. Разность в скорости вращения шнека и ротора необходима для принудительного перемещения осадка вдоль внутренней поверхности ротора.

Будем рассматривать основные части электропривода, состоящие из асинхронного двигателя и конически-цилиндрического ротора.

Электродвигатель центрифуги - трехфазный асинхронный электродвигатель электрическая асинхронная машина для преобразования электрической энергии в механическую. Принцип работы асинхронного электродвигателя основан на взаимодействии вращающегося магнитного поля, возникающего при прохождении трехфазного переменного тока по обмоткам статора, с током, индуцированным полем статора в обмотках ротора. [11]

В результате чего возникают механические усилия, заставляющие ротор вращаться в сторону вращения магнитного поля при условии, что частота вращения ротора n меньше частоты вращения поля n_1 , ротор совершает асинхронное вращение по отношению к полю.

5 Исследование асинхронного электропривода

5.1 Общие положения

Для реализации исследования асинхронного электропривода предлагается использование современного мощного программного продукта Simulink (Matlab). Виртуальные модели асинхронного двигателя, созданные в Simulink, позволят выполнить процесс исследования электропривода, который в реальной действительности полностью реализовать трудно. [14]

Для исследования в Simulink необходимо использовать методику проектирования и исследования асинхронного электропривода, а также технические данные электропривода.

5.2 Разработка структуры векторного частотно-токового управления

Для разработки структуры векторного частотно-токового управления и выполнения исследований на имитационных моделях в Simulink, необходимо сделать математическое описание асинхронной короткозамкнутой машины, и использовать технические данные асинхронного двигателя (АД), типа RA225S4 и преобразователь частоты (ПЧ) модели FC302 фирмы Danfoss. Основные параметры преобразователя сведены в таблицу 5.1.

Таблица 5.1 Основные параметры преобразователя частоты FC302

Описание параметра	Значение параметра
Напряжение питания	380-480 В +5%
Макс. кратковременная асимметрия фаз сети питания	3,0 % от ном.питания
Коэффициент активной мощности (λ)	>0,98 ном.значения
Коэффициент реактивной мощности ($\cos \varphi$) около единицы	(> 0,98) < 5%
Общее гармоническое искажение тока (THiD)	
Диапазон регулирования скорости (разомкнутый контур)	1:100 скорости вращения
Точность регулирования скорости вращения	30 - 4000 об/мин: ± 8
Разрешающая способность выходной частоты в интервале	0 - 1000 Гц +/- 0,003 Гц
Длительность изменения скорости	0,02-3600 с
Верхний предел скорости вращения электродвигателя	3600 об/мин
Предел крутящего момента в режиме двигателя	160.0 %
Предел тока электродвигателя	160.0 %
Максимальная выходная частота электродвигателя	132,0 Гц
ПИД-регулятора скорости вращения:	
Коэффициент усиления пропорционального звена	0.015
Предел усиления в цепи дифференцирования	5.0
Постоянная времени фильтра нижних частот	10,0 мс
Перегрузочная способность	
по Мощности P_N (кВт)	37
по Току I_N (А)	67,1

Таблица 5.2 Технические данные двигателя RA200L4

Тип двигателя	P_H , кВт	Масса, кг	n_H , об/мин	η , %	$\cos \varphi$	I_H , А	$\frac{I_{\text{пуск}}}{I_H}$	$\frac{M_{\text{пуск}}}{M_H}$	$\frac{M_{\text{max}}}{M_H}$	J , кг·м ²
RA200L4	30	200	1475	91,5	0,88	56,6	7	2,7	3,2	0,132

Таблица 5.3 Параметры двигателя

Параметр	Значение	Параметр	Значение	Параметр	Значение	Параметр	Значение
U_b , В	311,1	K_r , о.е	0,98397	R_r , Ом	0,00837	$1/J$	0.3663
I_b , А	3,394	R , Ом	0,22538	$L_S = L_r$, Гн	0,05866	M_n , Нм	194,88
M_b , Нм	15,08	L'_S , Гн	0.0018653	L_m , Гн	0.057719	L_{ls} , мГн	35.2
R_S , Ом	0,1443	T_r , с	0,70044	T'_S , с	0.008276	L_{lr} , мГн	35,2

Расчет параметров привода для исследования.

Суммарный момент инерции учитывающий инерционность как самой машины, так и приведенной к валу иннерционности рабочего механизма и редуктора, найдем по формуле:

$$J_{\Sigma} = J_{\text{дв}} + \frac{J_{\text{рт}}}{i}$$

где: $J_{\text{дв}}$ - момент инерции двигателя из таблицы технические данные двигателя

$J_{\text{рт}}$ - момент инерции ротора из расчетов приведенных в (2.1.4)

i - передаточное число, учитывая технические параметры центрифуги соотношение скорости вращения двигателя и ротора.

$$J_{\Sigma} = 0,1326 + \frac{0,6489}{(0,5)^2} = 0,1326 + 2,5956 = 2,73 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Для построения имитационных моделей необходимо принять определённый уровень идеализации свойств АД и ПЧ. В теории электропривода переменного тока общепринятыми допущениями принято считать следующие:

не учитываются потери в стали;

рассматривается трёхфазный симметричный режим работы;

насыщением магнитной цепи АД пренебрегаем;

принимаются напряжения на выходе ПЧ синусоидальной формы;

пренебрегаем энергетической связью между АД и ПЧ.

В соответствии с установившимися традициями проектирования средств управления принимаем максимальные уровни входных сигналов управления и выходных напряжений управления (регуляторов) на уровне ± 10 В.

Коэффициент обратной связи по току:

$$K_{oc1} = \frac{10}{I_{\text{пик пч}} \cdot \sqrt{2}} = \frac{10}{67,1 \cdot \sqrt{2}} = 0,10538$$

Коэффициент обратной связи по потоку:

$$K_{oc2} = \frac{10}{\Psi_{rx \max}} = \frac{10}{1} = 10$$

Коэффициент обратной связи по частоте вращения:

$$K_{oc3} = \frac{10}{\omega_{\max}} = \frac{10}{149,99} = 0,06667$$

где $I_{\text{пик пч}} = 67,1$ А - максимальный ток преобразователя частоты см. таблицу 5.1

$\Psi_{rx \max} = 1$ Вб- максимальный поток двигателя,

$\omega_{max} = 149,999$ - максимальная частота вращения двигателя (ротора).

Номинальный момент двигателя – 194,88 Нм.

Номинальный поток обмотки ротора приближённо определим по формуле:

$$\psi_{nom} = \frac{M_{ном}}{1,5 \cdot p \cdot K_r \cdot \sqrt{2} \cdot I_{ном} \cdot \cos \varphi_{ном}} = \frac{194,88}{1,5 \cdot 2 \cdot 0,98397 \cdot \sqrt{2} \cdot 56,607 \cdot 0,88} = 0,93713 \text{ Вб}$$

5.3 Математическое описание асинхронной короткозамкнутой машины относительно двух переменных состояния: $\bar{i}_S, \bar{\psi}_R$

5.3.1 Описание в относительной форме в произвольной системе координат

Примем в качестве пары переменных, описывающих поведение машины в переходных режимах, пространственные векторы тока статора и потокоцепления ротора ($\bar{i}_S, \bar{\psi}_R$). [15] Это позволяет уменьшить число уравнений, упростить структуру, сократить время моделирования и осуществить векторное управление. Схема асинхронной машины с короткозамкнутым ротором (АКЗ) получается из обобщённой схемы (рисунок 4.1), если обмотки ротора замкнуть накоротко.

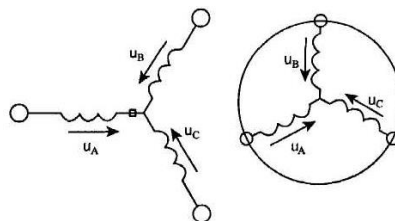


Рисунок 5.1 – Обобщенная асинхронная машина

При этом в обобщенной системе уравнений для описания асинхронной машины следует положить $U_R = 0$:

$$\bar{u}_S = r_S \bar{i}_S + \frac{d\bar{\psi}_S}{dt} + j\alpha_k \bar{\psi}_S, \quad (5.1)$$

$$0 = r_R \bar{i}_R + \frac{d\bar{\psi}_R}{dt} + j(\alpha_k - p\vartheta_m) \bar{\psi}_R, \quad (5.2)$$

$$\bar{\psi}_S = x_S \bar{i}_S + x_m \bar{i}_R, \quad (5.3)$$

$$\bar{\psi}_R = x_R \bar{i}_R + x_m \bar{i}_S, \quad (5.4)$$

$$m = k \cdot \text{Mod}(\bar{\psi}_i \times \bar{i}_k), \quad (5.5)$$

$$\bar{T}_m \frac{d\vartheta}{dt} = m - m_H. \quad (5.6)$$

Для анализа динамических свойств двигателя, необходимо учитывать переходные электромагнитные процессы в машине. Приведем ход преобразований, приводящий к конечному результату. Подставим в уравнение (4.2) выражение (4.4):

$$\begin{aligned} \bar{u}_S &= r_S \bar{i}_S + \frac{d(x_S \bar{i}_S + x_m \bar{i}_R)}{dt} + j\alpha_k (x_S \bar{i}_S + x_m \bar{i}_R) = \\ &= r_S \bar{i}_S + x_S \frac{d\bar{i}_S}{dt} + x_m \frac{d\bar{i}_R}{dt} + j\alpha_k x_S \bar{i}_S + j\alpha_k x_m \bar{i}_R. \end{aligned} \quad (5.7)$$

Для определения производной по току ротора $\frac{d\bar{i}_R}{dt}$ распишем (5.3) с учетом выражения для потокосцепления ротора $\bar{\psi}_R$ (5.5)

$$\begin{aligned}
0 &= r_R \bar{i}_R + \frac{d\bar{\psi}_R}{dt} + j(\alpha_k - p\mathcal{G}_m)\bar{\psi}_R = r_R \bar{i}_R + \frac{d\bar{\psi}_R}{dt} + j\alpha_k \bar{\psi}_R - jp\mathcal{G}_m \bar{\psi}_R = \\
&= r_R \bar{i}_R + \frac{d(x_R \bar{i}_R + x_m \bar{i}_S)}{dt} + j\alpha_k(x_R \bar{i}_R + x_m \bar{i}_S) - jp\mathcal{G}_m \bar{\psi}_R = \\
&= r_R \bar{i}_R + x_R \frac{d\bar{i}_R}{dt} + x_m \frac{d\bar{i}_S}{dt} + j\alpha_k x_R \bar{i}_R + j\alpha_k x_m \bar{i}_S - jp\mathcal{G}_m \bar{\psi}_R.
\end{aligned} \tag{5.8}$$

Определим $\frac{d\bar{i}_R}{dt}$ из выражения (4.9):

$$\frac{d\bar{i}_R}{dt} = -\frac{r_R}{x_R} \bar{i}_R - \frac{x_m}{x_R} \frac{d\bar{i}_S}{dt} - j\alpha_k \bar{i}_R - j\alpha_k \frac{x_m}{x_R} \bar{i}_S + jp\mathcal{G}_m \frac{1}{x_R} \bar{\psi}_R. \tag{5.9}$$

Выразим ток ротора через уравнение (4.5):

$$\bar{i}_R = \frac{1}{x_R} \bar{\psi}_R - \frac{x_m}{x_R} \bar{i}_S. \tag{5.10}$$

Подставим (5.11) в (5.10) и помножим на x_m в соответствии с уравнением (5.8):

$$\begin{aligned}
x_m \frac{d\bar{i}_R}{dt} &= -\frac{x_m r_R}{x_R} \left(\frac{1}{x_R} \bar{\psi}_R - \frac{x_m}{x_R} \bar{i}_S \right) - \frac{x_m^2}{x_R} \frac{d\bar{i}_S}{dt} - j\alpha_k x_m \left(\frac{1}{x_R} \bar{\psi}_R - \frac{x_m}{x_R} \bar{i}_S \right) - \\
&\quad - j\alpha_k \frac{x_m^2}{x_R} \bar{i}_S + jp\mathcal{G}_m \frac{x_m}{x_R} \bar{\psi}_R = \\
&= -\frac{x_m r_R}{x_R^2} \bar{\psi}_R + \frac{x_m^2 r_R}{x_R^2} \bar{i}_S - \frac{x_m^2}{x_R} \frac{d\bar{i}_S}{dt} - j\frac{\alpha_k x_m}{x_R} \bar{\psi}_R + p\mathcal{G}_m \frac{x_m}{x_R} \bar{\psi}_R.
\end{aligned} \tag{5.11}$$

Полученное выражение (5.12) и соотношение (5.11) подставим в уравнение (5.8):

$$\begin{aligned}
\bar{u}_S = r_S \bar{i}_S + x_S \frac{d\bar{i}_S}{dt} - \frac{x_m r_R}{x_R^2} \bar{\psi}_R + \frac{x_m^2 r_R}{x_R^2} \bar{i}_S - \frac{x_m^2}{x_R} \frac{d\bar{i}_S}{dt} - j \frac{\alpha_k x_m}{x_R} \bar{\psi}_R + j p g_m \frac{x_m}{x_R} \bar{\psi}_R + \\
+ j \alpha_k x_S \bar{i}_S + j \alpha_k x_m \left(\frac{1}{x_R} \bar{\psi}_R - \frac{x_m}{x_R} \bar{i}_S \right) = r_S \bar{i}_S + \frac{x_m^2 r_R}{x_R^2} \bar{i}_S + x_S \frac{d\bar{i}_S}{dt} - \frac{x_m^2}{x_R} \frac{d\bar{i}_S}{dt} - \\
- \frac{x_m r_R}{x_R^2} \bar{\psi}_R + j \alpha_k x_S \bar{i}_S - j \alpha_k \frac{x_m^2}{x_R} \bar{i}_S + j p g_m \frac{x_m}{x_R} \bar{\psi}_R.
\end{aligned} \tag{5.12}$$

Перепишем полученное уравнение равновесия вектора напряжения статора с учетом новых безразмерных параметров $r = r_s + k_R^2 r_R$, $x_s' = x_s - \frac{x_m^2}{x_R}$,

$$k_R = \frac{x_m}{x_R}, T_R = \frac{x_R}{r_R} \text{ в виде:}$$

$$\bar{u}_S = r \bar{i}_S + x_S' \frac{d\bar{i}_S}{dt} + j \alpha_k x_S' \bar{i}_S - \frac{k_R}{T_R} \bar{\psi}_R + j p g_m k_R \bar{\psi}_R. \tag{5.13}$$

Основное уравнение равновесия напряжений для цепи ротора получим при подстановки (4.11) в (4.3):

$$\begin{aligned}
0 = r_R \left(\frac{1}{x_R} \bar{\psi}_R - \frac{x_m}{x_R} \bar{i}_S \right) + \frac{d\bar{\psi}_R}{dt} + j (\alpha_k - p g_m) \bar{\psi}_R = \\
= \frac{1}{\bar{O}_R} \bar{\psi}_R + \frac{d\bar{\psi}_R}{dt} - k_R r_R \bar{i}_S + j (\alpha_k - p g_m) \bar{\psi}_R.
\end{aligned} \tag{5.14}$$

Раскроем смысл выражения (5.6) для момента. Из литературы следует, что при выбранной паре переменных состояния $\bar{\psi}_S, \bar{i}_S$ выражения для момента в относительных единицах имеет вид при $k=1$: $m = (\bar{\psi}_{S\alpha} \bar{i}_{S\beta} - \bar{\psi}_{S\beta} \bar{i}_{S\alpha})$

Кроме того, векторное произведение можно представить в виде определителя, выраженного через составляющие векторов в неподвижной системе координат и единичные орты пространственной системы координат:

$$(4.15) \quad m = (\bar{\psi}_S \times \bar{i}_S) = \begin{bmatrix} \bar{i} & \bar{j} & \bar{k} \\ \bar{\psi}_{S\alpha} & \bar{\psi}_{S\beta} & 0 \\ \bar{i}_{S\alpha} & \bar{i}_{S\beta} & 0 \end{bmatrix} = \bar{k}(\bar{\psi}_{S\alpha}\bar{i}_{S\beta} - \bar{\psi}_{S\beta}\bar{i}_{S\alpha})$$

Полученная формула совпадает с

выражением для момента и указывает, что момент направлен вдоль орта $\bar{k}$ (вдоль оси вала двигателя). Выведем выражение для момента с учетом выбранной пары векторов переменных состояния асинхронного двигателя $\bar{\psi}_R, \bar{i}_S$. Сделаем подстановку в (5.4) выражения (5.11):

$$\bar{\psi}_S = x_S \bar{i}_S + x_m \left(\frac{1}{x_R} \bar{\psi}_R - \frac{x_m}{x_R} \bar{i}_S \right) = x'_S \bar{i}_S + k_R \bar{\psi}_R \quad (5.16)$$

Распишем (4.16) через составляющие по осям α, β :

$$\begin{aligned} \bar{\psi}_{S\alpha} &= x'_S \bar{i}_{S\alpha} + k_R \bar{\psi}_{R\alpha} \\ \bar{\psi}_{S\beta} &= x'_S \bar{i}_{S\beta} + k_R \bar{\psi}_{R\beta} \end{aligned} \quad (5.17)$$

Выражения (5.17) подставим в (5.15):

$$\begin{aligned} m &= \bar{\psi}_{S\alpha} \bar{i}_{S\beta} - \bar{\psi}_{S\beta} \bar{i}_{S\alpha} = (x'_S \bar{i}_{S\alpha} + k_R \bar{\psi}_{R\alpha}) \bar{i}_{S\beta} - (x'_S \bar{i}_{S\beta} + k_R \bar{\psi}_{R\beta}) \bar{i}_{S\alpha} = \\ &= k_R (\bar{\psi}_{R\alpha} \bar{i}_{S\beta} - \bar{\psi}_{R\beta} \bar{i}_{S\alpha}) \end{aligned} \quad (5.18)$$

По структуре выражение (5.18) совпадает с (5.6) при:

$$k = k_R = \frac{x_m}{x_R}, \quad \bar{\psi}_i = \bar{\psi}_R, \quad \bar{i}_k = \bar{i}_S$$

Уравнения (5.2)...(5.7) после соответствующих преобразований принимают вид:

$$\begin{aligned} \bar{u}_S &= r \bar{i}_S + x'_S \frac{d\bar{i}_S}{dt} + j\alpha_k x'_S \bar{i}_S - \frac{k_R}{T_R} \bar{\psi}_R + jp \mathcal{G}_m k_R \bar{\psi}_R, \\ 0 &= \frac{1}{T_R} \bar{\psi}_R + \frac{d\bar{\psi}_R}{dt} - k_R r \bar{i}_S + j(\alpha_k - p \mathcal{G}_m) \bar{\psi}_R, \\ m &= k_R (\bar{\psi}_{R\alpha} \bar{i}_{S\beta} - \bar{\psi}_{R\beta} \bar{i}_{S\alpha}), \\ \bar{T}_m \frac{d\mathcal{G}_m}{dt} &= m - m_H. \end{aligned} \quad (5.19)$$

Видим, что при переходе к двум переменным состояния число уравнений (5.19), описывающих электромагнитные и электромеханические процессы в асинхронном двигателе, сократилось до четырех.

5.3.2 Описание в абсолютных единицах в произвольной системе координат

Перепишем полученную систему уравнений (5.19) в относительной форме в абсолютных единицах без особых пояснений.

$$\begin{aligned}
 U_S &= R i_S + L'_S \frac{di_S}{dt} + j\omega_k L'_S i_S - \frac{k_R}{T_R} \psi_R + jp\omega_m k_R \psi_R, \\
 0 &= \frac{1}{T_R} \psi_R + \frac{d\psi_R}{dt} - k_R R i_S + j(\omega_k - p\omega_m) \psi_R, \\
 M &= \frac{3}{2} p k_R (\psi_{R\alpha} i_{S\beta} - \psi_{R\beta} i_{S\alpha}), \\
 J \frac{d\omega_m}{dt} &= M - M_H.
 \end{aligned} \tag{5.20}$$

Для полученной системы уравнений (5.20) структура не меняется, меняются параметры двигателя, переписанные в абсолютных единицах.

6 Имитационное исследование в Simulink

6.1 Математическое описание векторного управления двигателем

Представим систему уравнений для разработки структуры асинхронного двигателя в Simulink, в виде отдельных уравнений в операторной форме для системы координат, вращающейся с произвольной частотой ω_k [14]:

$$i_{Sx} = (U_{Sx} + L'_S \omega_k i_{Sy} + \frac{k_R}{T_R} \psi_{Rx} + p \omega_m k_R \psi_{Ry}) \frac{\frac{1}{R}}{(1 + T'_S s)}, \quad (6.1)$$

$$i_{Sy} = (U_{Sy} - L'_S \omega_k i_{Sx} + \frac{k_R}{T_R} \psi_{Ry} - p \omega_m k_R \psi_{Rx}) \frac{\frac{1}{R}}{(1 + T'_S s)}, \quad (6.2)$$

$$\psi_{Rx} = (k_R R i_{Sx} + (\omega_k - p \omega_m) \psi_{Ry}) \frac{T_R}{(1 + T_R s)}, \quad (6.3)$$

$$\psi_{Ry} = (k_R R i_{Sy} - (\omega_k - p \omega_m) \psi_{Rx}) \frac{T_R}{(1 + T_R s)}, \quad (6.4)$$

$$T_e = \frac{3}{2} p k_R (\psi_{Rx} i_{Sy} - \psi_{Ry} i_{Sx}), \quad (6.5)$$

$$\omega_m = \frac{1}{s} \left(\frac{1}{J} \right) (T_e - T_a - T_L), \quad (6.6)$$

$$\gamma = \frac{1}{s} (\omega_k). \quad (6.7)$$

Смысл векторного управления состоит в ориентации потока ротора $\psi_{Rном}$ по оси x вращающейся системы координат:

$$\psi_{Rном} = \psi_{Rx}, \quad \psi_{Ry} = 0. \quad (6.8)$$

Применяем условие (6.7) к выражению (6.3) и получаем условие ориентации потока ротора по оси x :

$$\omega_u = \omega_k = p\omega_m + k_R R_R \frac{i_{Sy}}{\psi_{Rx}}, \quad (6.9)$$

где ω_u - частота источника тока (например, инвертора);

ω_k - частота вращения подвижной системы координат x, y ;

ω_m - частота вращения ротора;

k_R, R_R - параметры двигателя;

i_{Sy} - составляющая тока статора по оси y .

Из условия (6.9) следует, что поток ротора $\psi_{Rном} = \psi_{Rx}$ ориентирован по оси x , если частота инвертора ω_u (источника тока) соответствует частоте вращения координат ω_k . Кроме того, из выражения (6.9) следует, что заданием на формирование необходимой частоты источника тока является ток статора i_{Sy} и поток ротора ψ_{Rx} .

Выражение (6.2) с учётом условия (6.7) упрощается и принимает вид:

$$\psi_{Rx} = \frac{T_R}{(1 + T_R s)} k_R R_R i_{Sx} \quad (6.10)$$

где T_R - постоянная времени цепи обмотки ротора;

i_{Sx} - составляющая тока статора по оси x .

Формула для определения момента асинхронного двигателя также с учётом (4.28) упрощается и становится по структуре такой же, что для двигателя постоянного тока:

$$T_e = \frac{3}{2} p k_R \psi_{Rx} i_{Sy}, \quad (6.11)$$

где i_{Sy} - составляющая тока статора двигателя по оси y , определяющая совместно с потоком ротора ψ_{Rx} электромагнитный момент двигателя T_e ;

p – число пар полюсов двигателя.

Определение составляющих тока статора по осям x и y осуществляется по выражениям (6.1) и (6.2) с учетом условия (6.9):

$$i_{Sx} = (U_{Sx} + L'_S \omega_k i_{Sy} + \frac{k_R}{T_R} \psi_{Rx}) \frac{\frac{1}{R}}{(1 + T'_S s)}, \quad (6.12)$$

$$i_{Sy} = (U_{Sy} - L'_S \omega_k i_{Sx} - p \omega_m k_R \psi_{Rx}) \frac{\frac{1}{R}}{(1 + T'_S s)}, \quad (6.13)$$

где L'_S, T'_S, R - параметры схемы замещения асинхронного двигателя,

U_{Sx}, U_{Sy} - составляющие напряжения источника тока по осям x и y .

Уравнения движения электропривода (6.6) и вращающейся системы координат (6.7) остаются без изменения.

Сведём полученные уравнения в систему:

$$\begin{aligned} i_{Sx} &= (U_{Sx} + L'_S \omega_k i_{Sy} + \frac{k_R}{T_R} \psi_{Rx}) \frac{\frac{1}{R}}{(1 + T'_S s)}, \\ i_{Sy} &= (U_{Sy} - L'_S \omega_k i_{Sx} - p \omega_m k_R \psi_{Rx}) \frac{\frac{1}{R}}{(1 + T'_S s)}, \\ \psi_{Rx} &= \frac{T_R}{(1 + T_R s)} k_R R_R i_{Sx}, \\ T_e &= \frac{3}{2} p k_R \psi_{Rx} i_{Sy}, \\ \omega_m &= \frac{1}{s} \left(\frac{1}{J} \right) (T_e - T_{назп}), \\ \omega_k &= p \omega_m + k_R R_R \frac{i_{Sy}}{\psi_{Rx}}, \\ \gamma &= \frac{1}{s} (\omega_k). \end{aligned} \quad (6.14)$$

Полученная система уравнений (6.14) описывает поведение неоптимизированной структуры электропривода с векторным управлением. Структура включает реализацию уравнений (6.14) и моделирование реактивного момента.

Анализ выражений (6.14) позволяет сделать следующие заключения:

1) Управление электроприводом осуществляется путём задания тока статора по соответствующим осям. По оси x задаётся ток, определяющий поток ротора, по оси y – ток, определяющий момент двигателя. Кроме того, текущие значения тока по оси y и потока ротора определяют совместно с частотой вращения ротора частоту преобразователя, питающего двигатель;

2) Для придания проектируемому приводу свойств привода постоянного тока эти составляющие тока статора i_{sx} и i_{sy} должны не изменяться при воздействии поступающих при работе двигателя возмущений;

3) Такими свойствами неоптимизированная структура электропривода, не обладает.

Реализация режима источника тока в автономном инверторе осуществляется введением дополнительных контуров управления с астатическими регуляторами, на вход которых подается разность задающего сигнала и сигнала с датчика реального тока двигателя (см. рисунок 6.2).

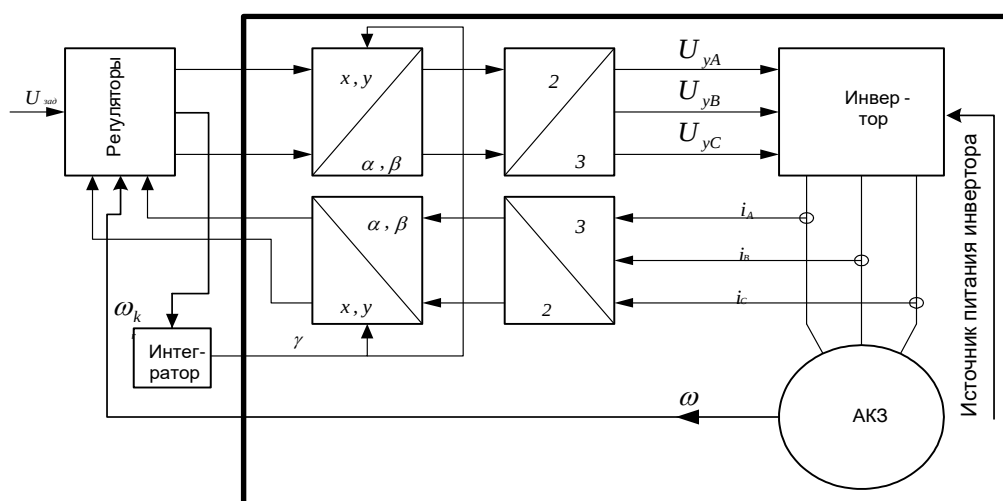


Рисунок 6.1 – Блок схема электропривода переменного тока

На рисунке 6.1 показана разработанная структура асинхронного двигателя с векторным управлением с применением преобразователя частоты с широтно-импульсной модуляцией. В отличие от неоптимизированной структуры введён контур тока с реальным преобразователем. Причём контур тока присутствует на осях x и y , задание на работу двигателя поступает в токовой форме. Поэтому такое управление называют частотно-токовым. Все возмущения, действующие в реальном двигателе и описанные системой уравнений (6.14), в структуре учтены. На оптимизированной структуре предусмотрена возможность исследования работы двигателя с любым характером нагрузки (с реактивным T_L и активным моментом T_a сопротивления). Для оптимизации процессов векторного управления асинхронным двигателем необходимо спроектировать два управляющих контура: потоком и скоростью с внутренними подчинёнными контурами тока.

На рисунке 6.4 представлена структура контура формирования потокосцепления (магнитного потока) ротора.

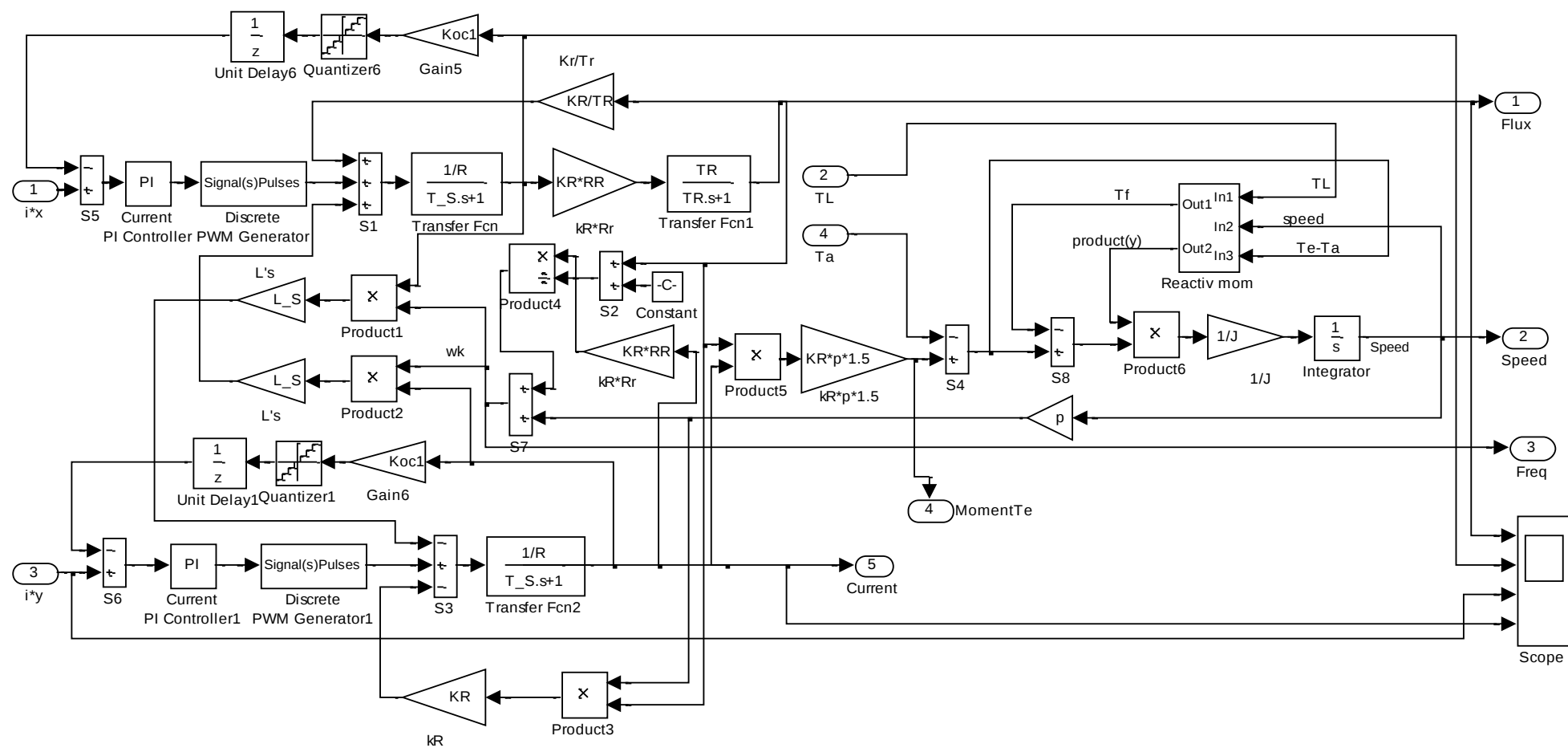


Рисунок 6.2 – Структура асинхронного двигателя с векторным управлением с применением преобразователя частоты с широтно-импульсной модуляцией

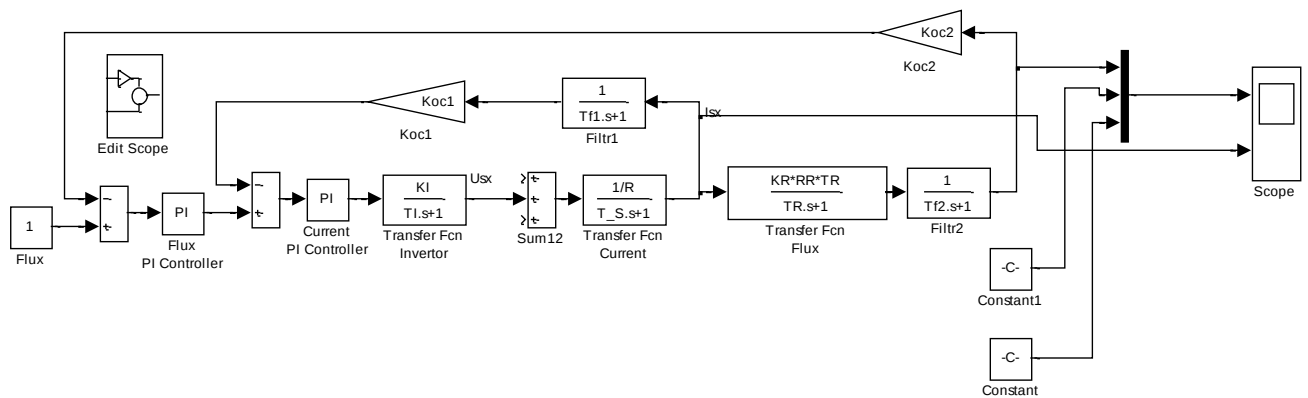


Рисунок 6.3 – Структура контура управления магнитным потоком

Структура включает два контура: внешний (главный) контур потока и внутренний (подчинённый) контур тока. Управление процессом формирования тока статора во вращающейся системе координат по оси x ведёт регулятор тока Current PI Controller. Ток в контуре I_{sx} создаётся с помощью управляемого преобразователя (инвертора), представленного идеальным (непрерывным) апериодическим звеном первого порядка. Силовая часть двигателя, введённая в контур тока Transfer Fcn Current, представлена апериодическим звеном первого порядка с постоянной времени T'_s . Цепь обратной связи содержит фильтр Filtr1. В прямой цепи контура тока показан сумматор Sum12, через который вводятся возмущения, действующие от реального электропривода. В расчётной схеме возмущения исключены в предположении компенсации их при использовании астатического управления.

Внешний контур управляется регулятором потока Flux PI Controller. Выходной сигнал регулятора является входным для контура тока. Формирование магнитного потока в структуре асинхронного двигателя осуществляется апериодическим звеном первого порядка Transfer Fcn Flux с постоянной времени T_r . В прямую цепь контура потока введён фильтр Filtr2 в предположении, что в реальном электроприводе поток будет вычисляться, так как прямого доступа к этому параметру нет.

Данная структура смоделирована в Simulink. В модель введены параметры, полученные ниже, и при желании можно наблюдать оптимальный процесс управления потоком.

На рисунке 6.4 представлена структура контура управления частотой вращения ротора.

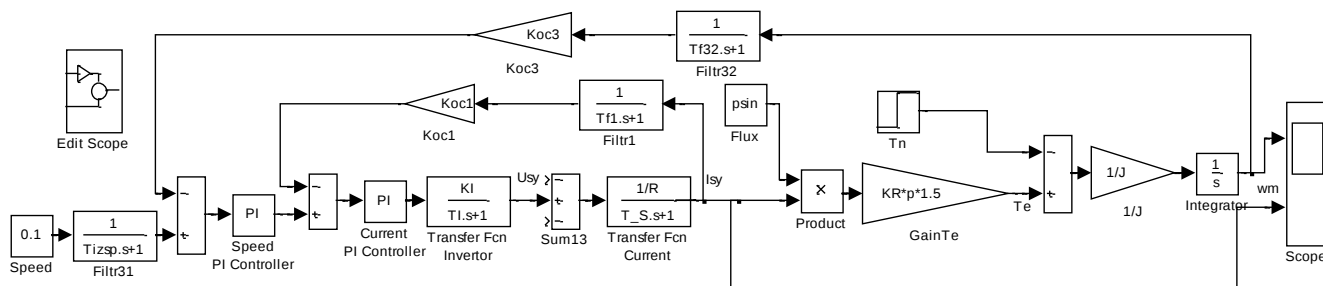


Рисунок 6.4 – Структура контура управления скоростью

Структура включает два контура: внешний (главный) контур скорости и внутренний (подчинённый) контур тока. Управление процессом формирования тока статора во вращающейся системе координат по оси u ведёт регулятор тока Current PI Controller. Ток в контуре I_{sy} создаётся с помощью управляемого преобразователя (инвертора), представленного идеальным (непрерывным) апериодическим звеном первого порядка.

Силовая часть двигателя, введённая в контур тока Transfer Fcn Current, представлена апериодическим звеном первого порядка с постоянной времени T_s . Цепь обратной связи содержит фильтр Filtr1. В прямой цепи контура тока показан сумматор Sum13, через который вводятся возмущения, действующие от реального электропривода. В расчётной схеме возмущения исключены в предположении компенсации их при использовании астатического управления. В отличие от контура потока характер возмущений другой, требующий запаса напряжения от инвертора.

Внешний контур управляется регулятором скорости Speed PI Controller. Выходной сигнал регулятора является входным для контура тока. Электромагнитный момент T_e создаётся током I_{sy} после умножения его на

поток и коэффициент Gain Te. Для упрощения структуры поток введён в виде номинального значения. Формирование частоты вращения в структуре асинхронного двигателя осуществляется интегральным звеном Integrator с постоянной времени J. В прямую цепь контура скорости введён фильтр Filtr31, оптимизирующий переходный процесс в структуре при ступенчатом управлении. В цепь обратной связи контура скорости введён фильтр Filtr32 в предположении, что в реальном электроприводе частота вращения будет вычисляться при бессенсорном управлении, либо формироваться от цифрового датчика положения. В модель введены параметры, полученные ниже, и при желании можно наблюдать оптимальный процесс управления частотой вращения. Рассмотренные структуры (рисунки 6.4 и 6.5) приняты для расчёта и оптимизации.

6.2 Расчёт параметров регулятора тока при идеальном источнике тока

Расчётная схема контура тока показана на рисунке 5.6.

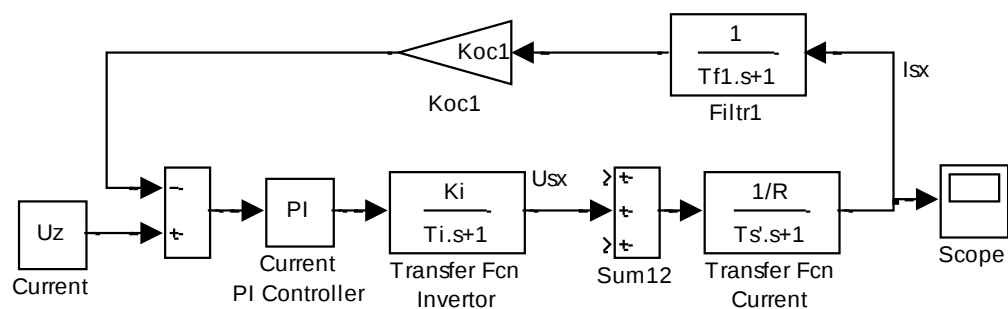


Рисунок 6.5 – Структурная схема контура тока

Контур содержит идеальный инвертор с передаточной функцией:

$$W_{TFI(s)} = \frac{K_I}{T_I \cdot s + 1}$$

где $K_I = \frac{U_{\Phi T}}{U_{y\max}} = \frac{219,4\sqrt{2}}{10} = 31,0277$ - коэффициент усиления инвертора;

$U_s = U_{\Phi} \cdot \sqrt{2}$ - модуль пространственного вектора фазного напряжения статора;

$U_{y\max} = 10\text{В}$ - максимальное напряжение управления инвертором;

$T_I = 1/f_i = \frac{1}{2500} = 0,0004\text{ с}$ - постоянная времени инвертора;

$f_i = 2500\text{ Гц}$ - несущая частота (коммутации) инвертора.

$$W_{TFI} = \frac{K_I}{T_I \cdot s + 1} = \frac{31,027}{0,0004s + 1}$$

Нагрузка инвертора представлена эквивалентным сопротивлением статорной обмотки $R = 0,22538\text{ Ом}$ и эквивалентной постоянной времени $T'_s = 0,00082761\text{ с}$ (см. таблицу 4.3).

Передаточная функция нагрузки (цепи обмотки статора):

$$W_{TFC(s)} = \frac{1/R}{T'_s \cdot s + 1} = \frac{1/0,22538}{0,00082761s + 1}$$

Передаточная функция фильтра Filtr1:

$$W_{F1(s)} = \frac{1}{T_{f1} \cdot s + 1} = \frac{1}{0,0001s + 1}$$

где $T_{f1} = 0,0001\text{ с}$ - постоянная времени фильтра, которая соответствует периоду опроса данных о реальном токе 200 мкс.

Коэффициент обратной связи по току был вычислен ранее и равен:

$$K_{oc1} = 0,10538$$

Расчёт параметров регулятора тока произведём по модульному оптимуму. Все необходимые условия выполнены.

При одной большой постоянной времени рекомендуется применение пропорционально-интегрального регулятора с передаточной функцией вида:

$$W_{\text{рег}(s)} = K_{\text{рег}} \frac{T_{\text{из}} \cdot s + 1}{T_{\text{из}} \cdot s} = 0,57048 \cdot \frac{0,008276 \cdot s + 1}{0,008276 \cdot s}$$

$$K_{\text{рег}} = \frac{T_s' \cdot R}{T_{\mu 1} \cdot a_k \cdot K_I \cdot K_{\text{oc}1}} = \frac{0,0082761 \cdot 0,22538}{0,0005 \cdot 2 \cdot 31,027 \cdot 0,10538} = 0,057048$$

$T_s' = T_{\text{из}} = 0,0082761$ с - большая постоянная времени, равная времени изотропа $T_{\text{из}}$;

$T_{\mu 1} = T_I + T_{f1} = 0,0004 + 0,00001 = 0,0005$ с - эквивалентная малая постоянная времени контура тока;

$a_k = 2$ - коэффициент оптимизации.

Таким образом, рассчитав все параметры контура тока разработаем модель в Simulink и представим её на рисунке 6.6.

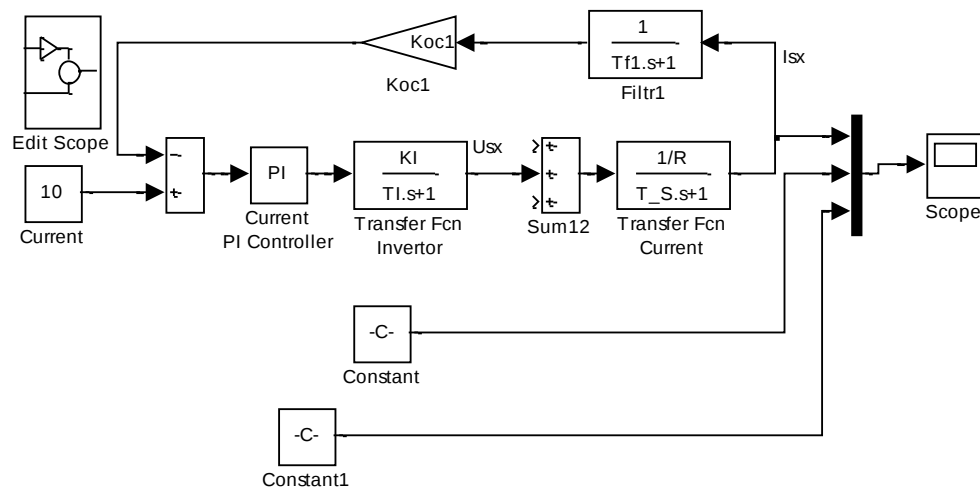


Рисунок 6.6– Схема модели контура тока

Модель реализована на элементах библиотеки Simulink, за исключением регулятора тока Current PI Controller, схема модели которого открывается по команде Look Under Mask и показана на рисунке 6.7.

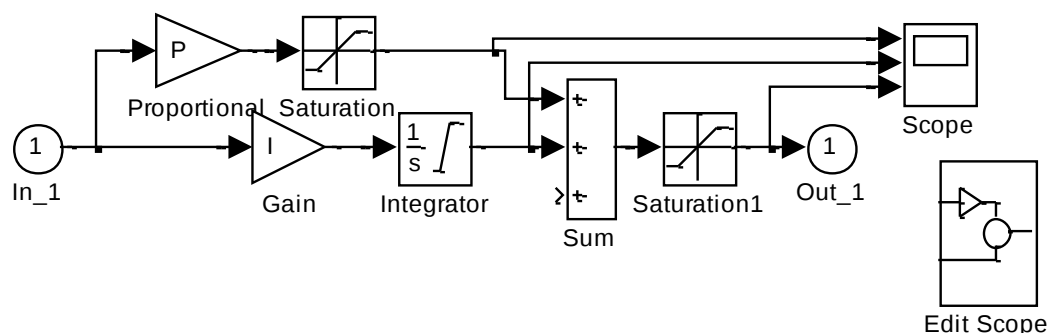


Рисунок 6.7– Схема модели ПИ-регулятора

Параметры регулятора вносятся через диалоговое окно, открывающееся при двойном щелчке по изображению регулятора.

В строку Proportional заносится коэффициент усиления регулятора $K_{\text{рег}}$,

в строку Izodrom – время изодрома $T_{\text{из}}$

коэффициент усиления интегратора $I = \frac{K_{\text{рег}}}{T_{\text{из}}}$ вычисляется при

инициализации регулятора. Limit Out, Limit Int – параметры, устанавливающие уровень ограничения выходного напряжения и интегратора регулятора. Параметры введены заведомо большого значения, чтобы исключить насыщения и обеспечить работу регулятора в линейном режиме.

Блок Current задаёт ток преобразователя (инвертора). Ток задаётся в виде напряжения. Для установленных параметров задающему напряжению $U \pm 10\text{В}$ соответствует ток статора по осям

$$\pm 94,89 \text{ A} = 67,1\sqrt{2}$$

Проведём исследование спроектированного контура в линейном режиме без ограничения выходных напряжений регулятора и осуществляется моделирование при задающем сигнале 10В (рисунок 6.8).

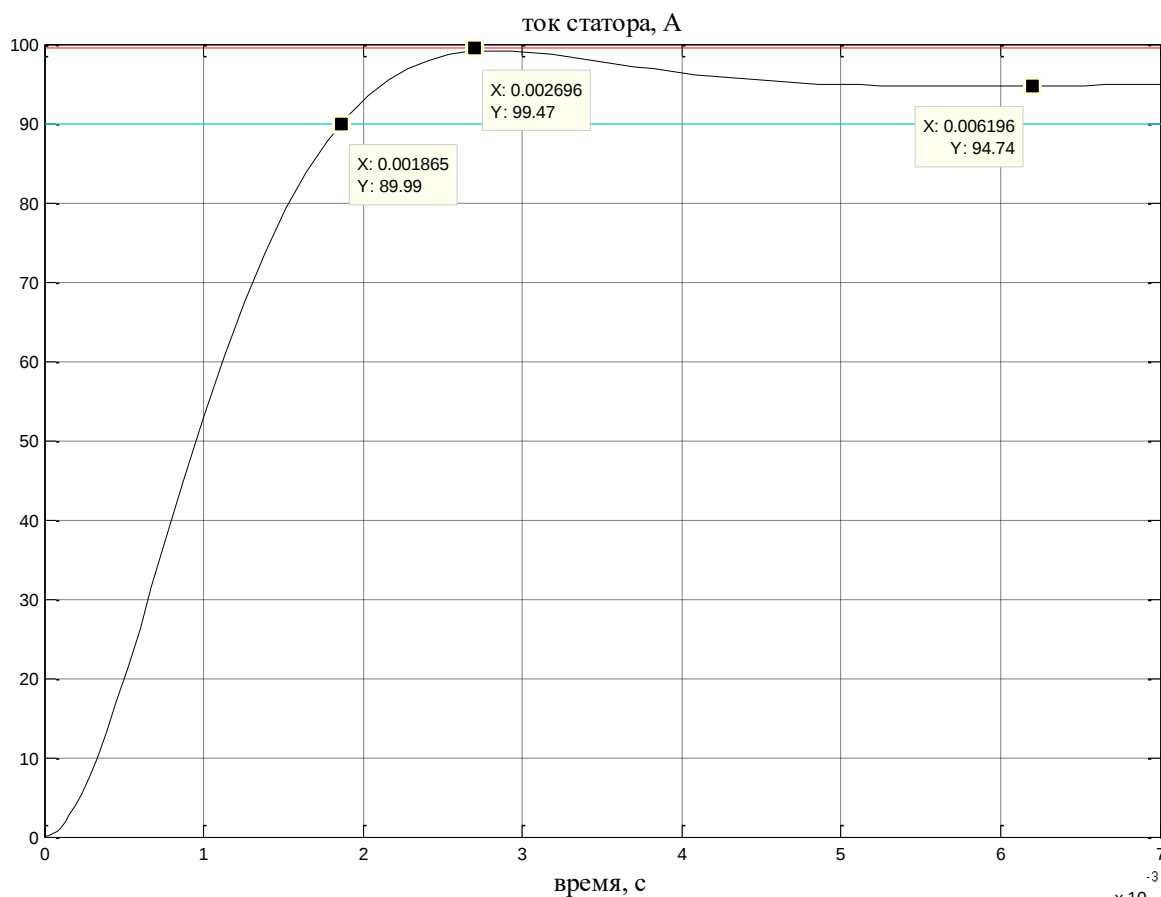


Рисунок 6.8 – Оптимизированный переходный процесс в контуре тока

Имеющиеся в Simulink инструменты обработки диаграмм позволяют с наименьшими затратами времени и с большой наглядностью получить нужные результаты. Например, на рисунке 6.8 после использования инструмента определения координаты нужной точки, располагаемой на расчётной кривой, следует, что перерегулирование составляет 4,4% при теоретическом значении 4,3%. Строго говоря, на этот результат влияет фильтр. Этот результат свидетельствует о том, что расчёт параметров регулятора произведён правильно. Какие-то детальные исследования соответствия полученных результатов рекомендациям Кесслера не имеют смысла, мы убедились в правильности разработанного контура.

6.3 Исследование влияния насыщения регулятора, квантования сигнала токовой обратной связи по уровню и времени

Схема имитационной модели исследования в Simulink показана на рисунке 6.9.

На диаграмме (рисунок 6.10) показаны результаты исследования влияния настройки некоторых параметров контура при максимальном задающем сигнале 10В.

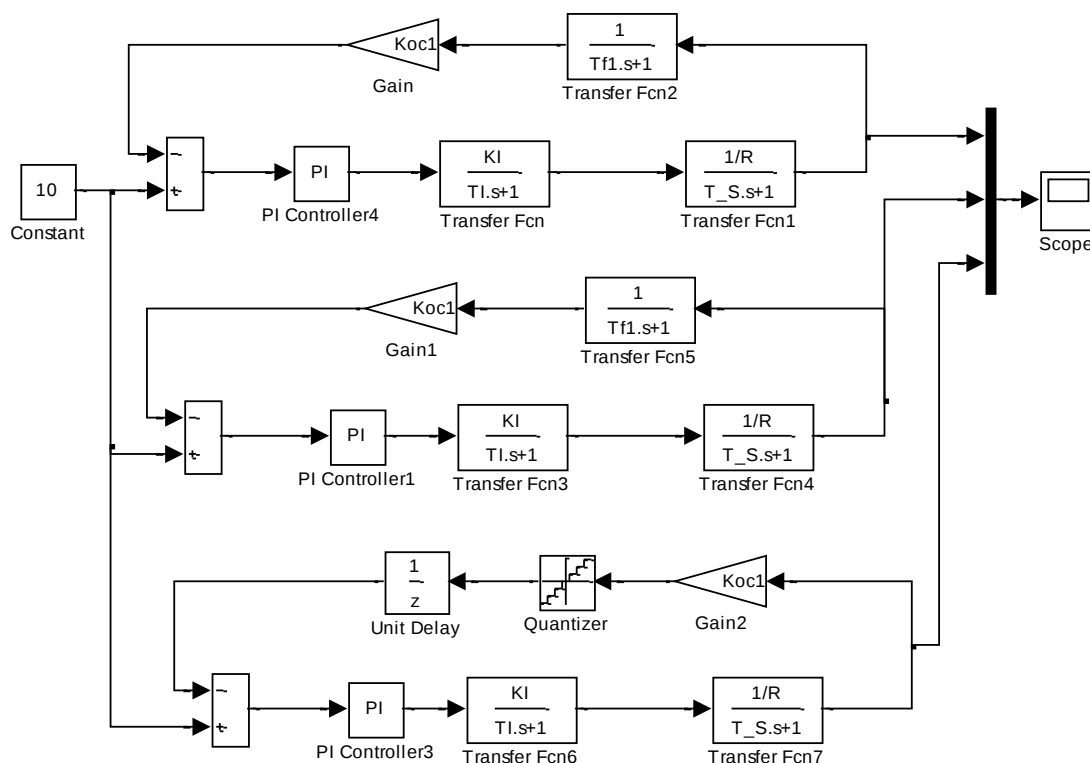


Рисунок 6.9 – Схема модели исследования влияния насыщения, квантования по уровню и времени

Ограничение регулятора на уровне 10В существенного влияния не оказывает так как оптимальный коэффициент регулятора меньше 1 (0,57048). Особого внимания заслуживает исследование влияния квантования сигнала обратной связи по уровню и времени. Исследование влияния квантованию по уровню даёт ответ на вопрос: с каким форматом слова по разрядности

необходимо применить контроллер при цифровом управлении. При исследовании влияния квантования по времени совместно с задержкой управления на это время позволит оценить требуемое быстродействие требуемого контроллера для цифрового управления. Результаты моделирования приведены для настроек блоков Quantizer и Unit Delay. Таким образом, цифровая управляющая система (контроллер) должна обеспечить с периодом в 20мкс подачу информации в цепь обратной связи через 12-разрядный ЦАП. Исследуем реакцию контура на «малое» управление в виде сигнала 0,01В. Результаты моделирования приведены на рисунке 6.11 Анализ показывает, что ограничение регулятора не влияет на реакцию контура, а квантование вносит погрешность в процесс управления. Это исследование позволяет сделать вывод о применении цифровых средств разрядностью не ниже 12. И эти выводы в значительной степени справедливы при проектировании электроприводов с диапазоном регулирования 1000 и выше.

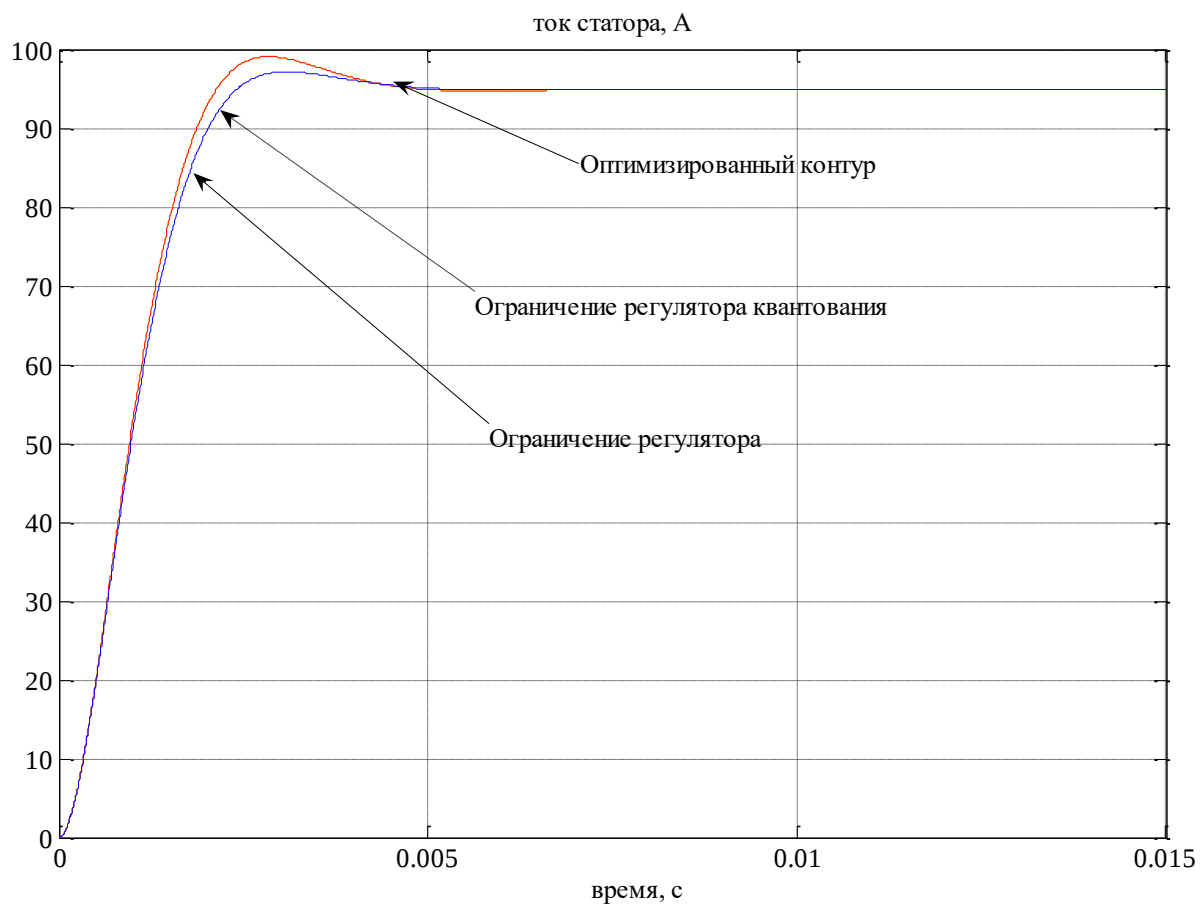


Рисунок 6.10 – Результаты исследования контура тока при максимальном сигнале управления

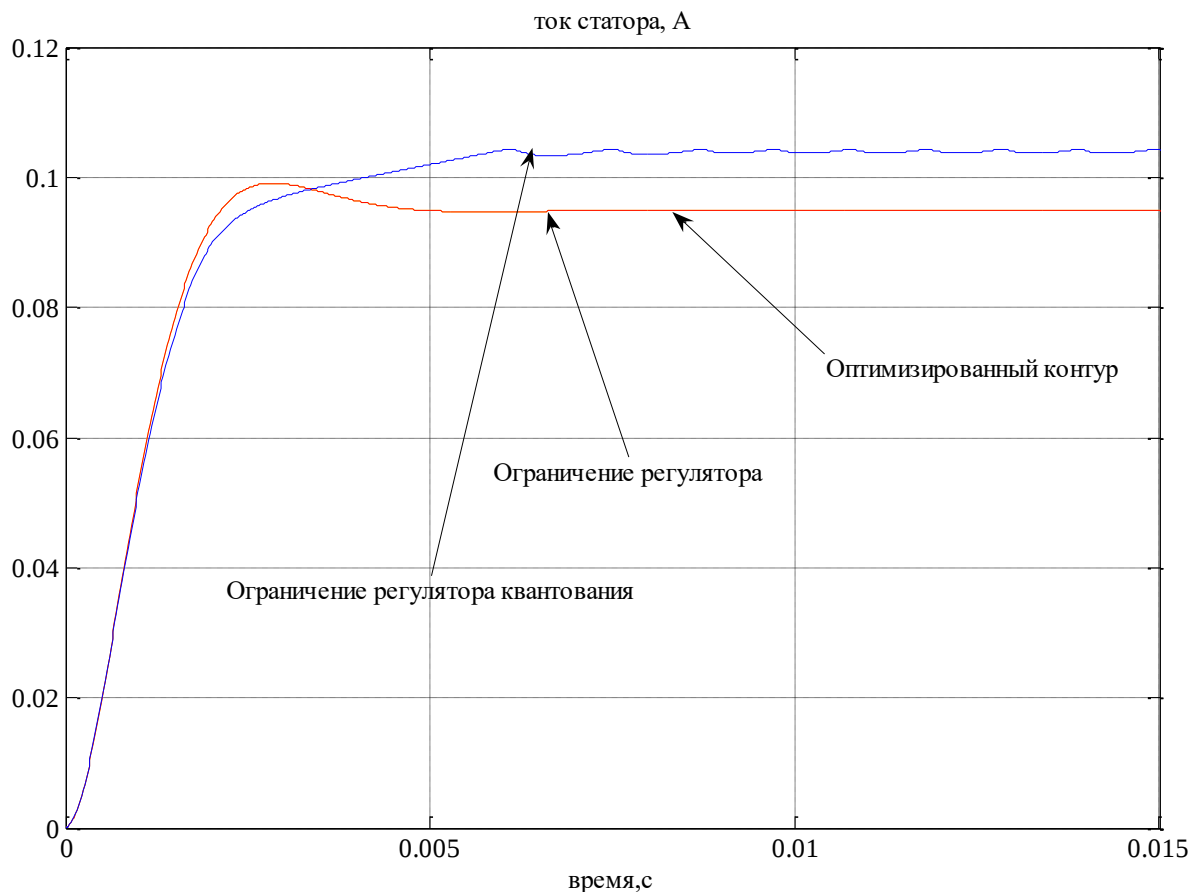


Рисунок 6.11 – Реакция контура тока на «малое» управление

Второй важный вывод состоит в том, что при «малом» управлении оптимальные свойства различных реализаций подтверждаются. Третий вывод свидетельствует о том, что преобразователь частоты с такими свойствами реализовать невозможно, но на этом этапе проектирования решена задача определения параметров регулятора тока и сформирован некоторый эталон, к которому необходимо приближать практические реализации.

6.4 Исследование влияния реальных свойств преобразователя частоты на статические и динамические свойства контура тока

Проведём имитационные исследования контура тока с управлением преобразователем частоты по широтно-импульсному способу на несущей частоте.

На рисунке 6.12 показаны схемы моделей контура тока в двух реализациях: с идеальным преобразователем частоты (эталон) – первый контур схемы модели; с управлением преобразователя по широтно-импульсному закону – второй контур. Цепи обратной связи всех контуров одинаковы, параметры регулятора тока соответствуют расчётным оптимальным значениям. Для управления по широтно-импульсному закону используем блок из состава библиотеки Simulink - Discrete PWM Generator с некоторым изменением. Выбираем управление однофазным мостом преобразователя, вводим значение несущей частоты преобразователя 2500 Гц (при максимальной частоте выбранного типа преобразователя 3000 Гц), рекомендуемый интервал моделирования этого блока 5e-6с оставляем без изменения.

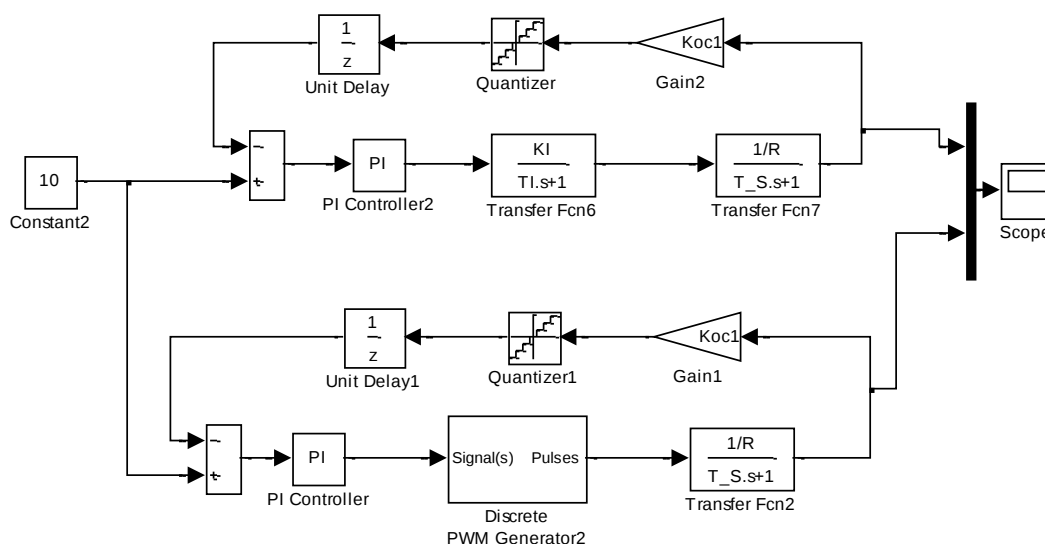


Рисунок 6.12 – Схемы моделей контура тока с различными реализациями преобразователя частоты

Максимальная амплитуда входного сигнала $\pm 10\text{В}$, амплитуда выходных импульсов $\pm 311,1\text{В}$. На рисунке 6.13 отражено влияние насыщения регулятора, квантования по уровню и времени, способа реализации преобразователя на переходный процесс в контуре тока при управлении в большом, на рисунке 6.14 – в малом.

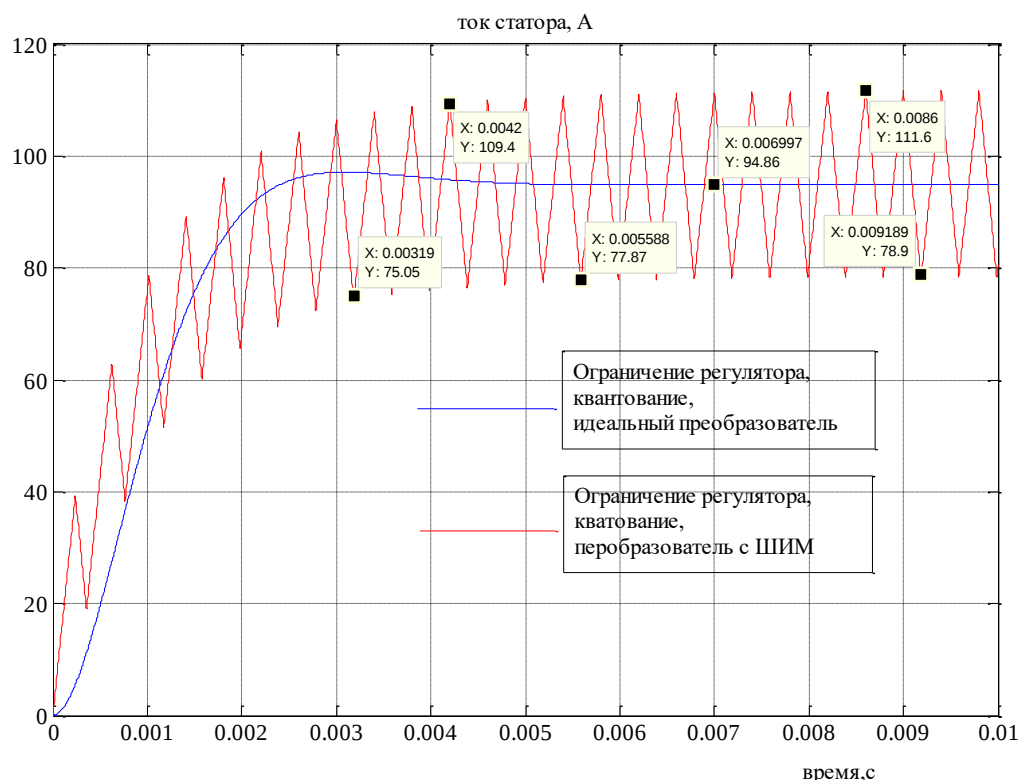


Рисунок 6.13 - Результаты моделирования реакции контура тока на входной сигнал 10В

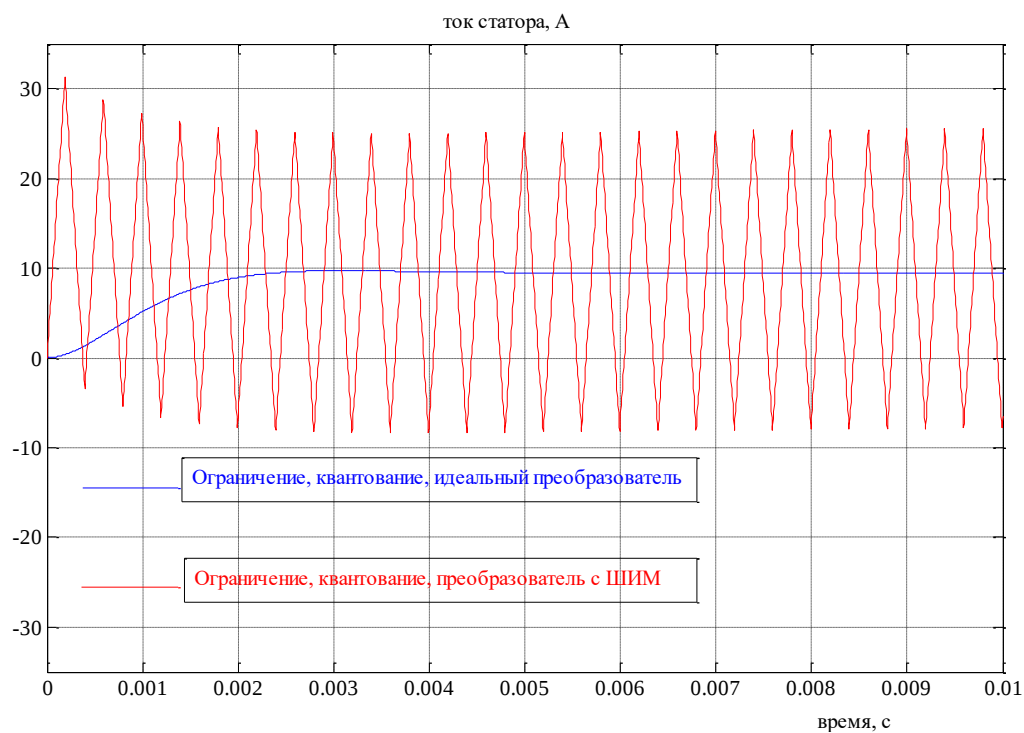


Рисунок 6.14 - Результаты моделирования реакции контура тока на входной сигнал 1В

Анализ полученных результатов моделирования позволяет утверждать, что контуры тока с реальными преобразователями выполнили поставленную задачу: на выходе сформирован ток со средним значением 94,8А.

Амплитуда пульсаций не превышает 5% и составляет 4...5А, частота пульсаций с ШИМ – 2500Гц. При входном воздействии 1В регуляторы не насыщаются, быстродействие стало оптимальным, реальные преобразователи отработали оптимальное быстродействие. Принимаем такую реализацию контура тока (с преобразователями) при проектировании контуров управления потоком и скоростью.

6.5 Расчёт параметров регулятора потока при идеальном источнике тока

Расчётная схема контура потока показана на рисунке 6.15.

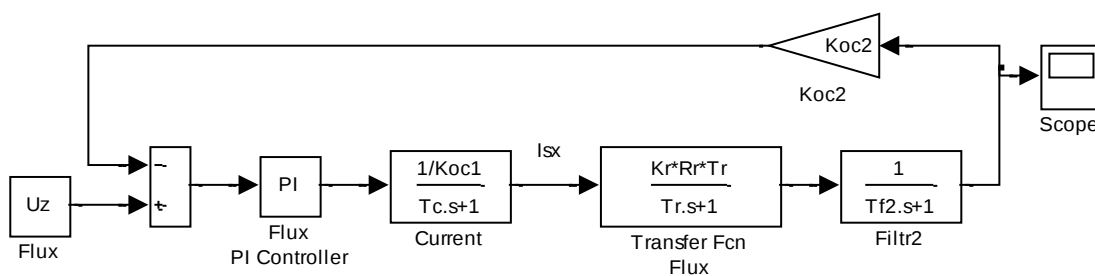


Рисунок 6.15 – Структурная схема контура потока

Контур содержит эквивалентный подчинённый контур тока с передаточной функцией:

$$W(s)_T = \frac{1/K_{oc1}}{T_T \cdot s + 1} = \frac{1/0,10538}{0,001 \cdot s + 1}$$

где $T_T = a_k \cdot T_{\mu 1} = 0,001 \text{ с}$ - эквивалентная постоянная контура тока.

Передаточная функция блока потока:

$$W_{TF(s)} = \frac{K_r \cdot R_r \cdot T_r}{T_r \cdot s + 1} = \frac{0,98397 \cdot 0,083746 \cdot 0,70044}{0,70044s + 1}$$

Передаточная функция фильтра Filt2:

$$W_{F2(s)} = \frac{1}{T_{f2} \cdot s + 1} = \frac{1}{0,00025 \cdot s + 1}$$

где $T_{f2} = 0,00025$ с - постоянная времени фильтра, которая соответствует периоду опроса данных о потоке 250 мкс.

Коэффициент обратной связи по потоку был вычислен ранее и равен:

$$K_{oc2} = 10$$

Расчёт параметров регулятора потока произведём по модульному оптимуму.

Все необходимые условия выполнены.

При одной большой постоянной времени рекомендуется применение пропорционально-интегрального регулятора с передаточной функцией вида:

$$W(s)_{\Psi} = k_{\Psi} \cdot \frac{T_{\Psi} \cdot s + 1}{T_{\Psi} \cdot s} = 51,153 \frac{0,0082761 \cdot s + 1}{0,0082761 \cdot s}$$

$$\begin{aligned} \text{где } k_{\Psi} &= \frac{T_r \cdot K_{oc1}}{T_{\mu2} \cdot a_k \cdot K_r \cdot R_r \cdot T_r \cdot K_{oc2}} \\ &= \frac{0,70044 \cdot 0,10538}{0,00125 \cdot 2 \cdot 0,98397 \cdot 0,083746 \cdot 0,70044 \cdot 10} = 51,1531 \end{aligned}$$

$T_r = T_{из} = 0,70044$ с - большая постоянная времени, равная времени изотропа $T_{из}$;

$$T_{\mu 2} = T_c + T_{f2} = 0,001 + 0,00025 = 0,00125 \text{ с} - \text{эквивалентная малая}$$

постоянная времени контура потока;

$$a_k = 2 - \text{коэффициент оптимизации.}$$

Таким образом, рассчитав все параметры контура потока (4.40...4.44), разработаем модель в Simulink, представленную на рисунке 6.16.

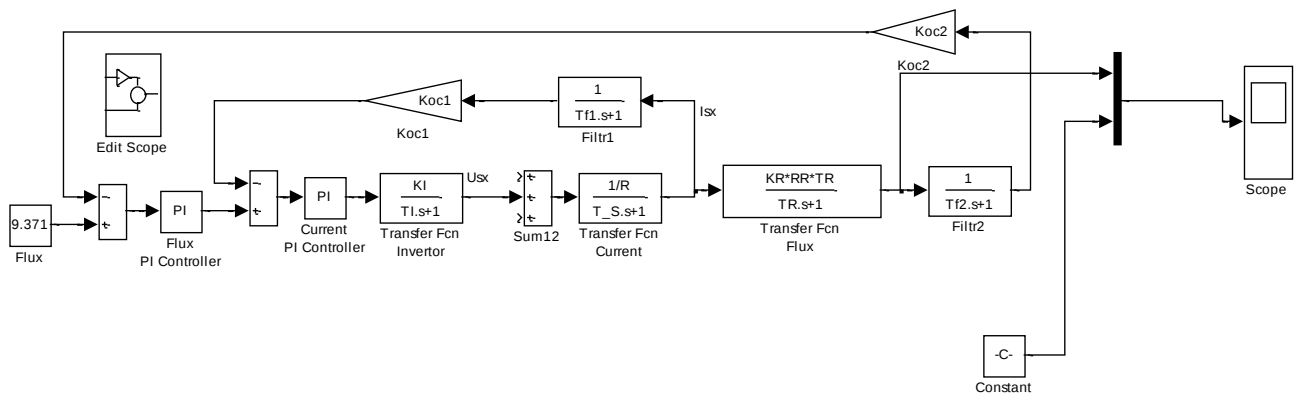


Рисунок 6.16 – Видоизменённая схема исследования контура потока

Поток задаётся в виде напряжения. Для установленных параметров задающему напряжению в 10В соответствует поток ротора по оси x 1Вб. Номинальному значению потока соответствует задание 9,371В

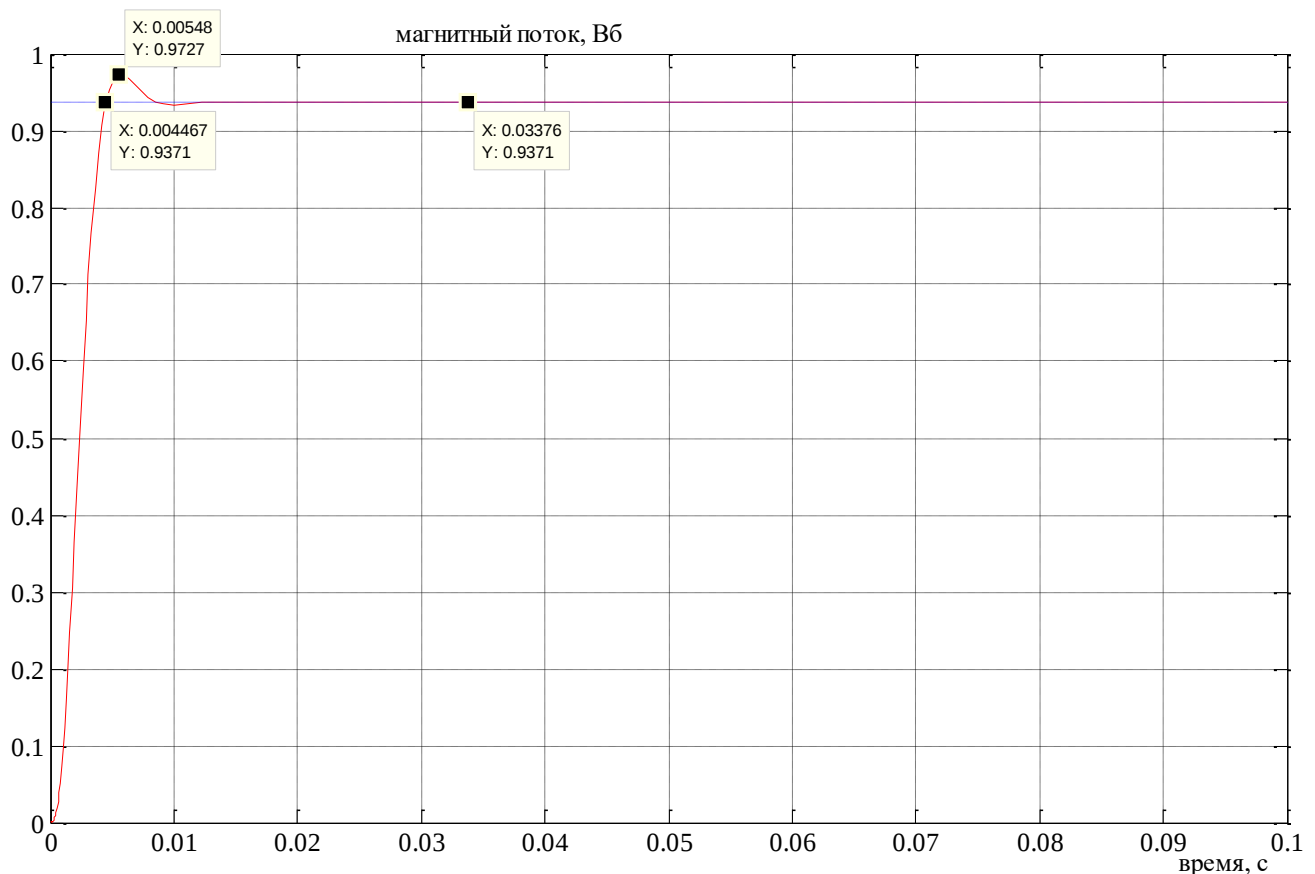


Рисунок 6.176 – Оптимизированный переходный процесс в контуре потока

6.6 Исследование влияния насыщения регулятора, квантования и задержки обратной связи, способа реализации источника тока

Схема имитационной модели исследования в Simulink показана на рисунке 6.18. Особенностью данной схемы модели является включение всех вариаций контуров, подлежащих исследованию. Каждый контур имеет маркировку от 1 до 4. В первом контуре заблокировано насыщение регуляторов потока и тока, источник тока идеальный, квантование и задержка сигналов обратных связей отсутствуют. Исследуем влияние насыщения регуляторов тока и потока на динамические характеристики контура потока. Для этого, во втором контуре введём ограничение регуляторов. На осциллограф подключим

выходные сигналы первого и второго контуров. Результат моделирования продемонстрирован на рисунке 6.20.

Результаты моделирования показывают, что время переходного процесса увеличилось относительно оптимального в 7 раз. На этом этапе исследования была определена настройка ограничения интегратора регулятора потока, которая составила величину в 1В. Настройка ограничения интегратора регулятора тока осталась прежней, полученной при проведенных исследованиях контура тока. В дальнейших исследованиях будем сравнивать показатели работы контура 2 (эталон) с аналогичными показателями работы 3, 4-го контуров. Основанием для этого является факт, что магнитный поток задаётся номинального значения и только в отдельных случаях ослабляется (уменьшается).

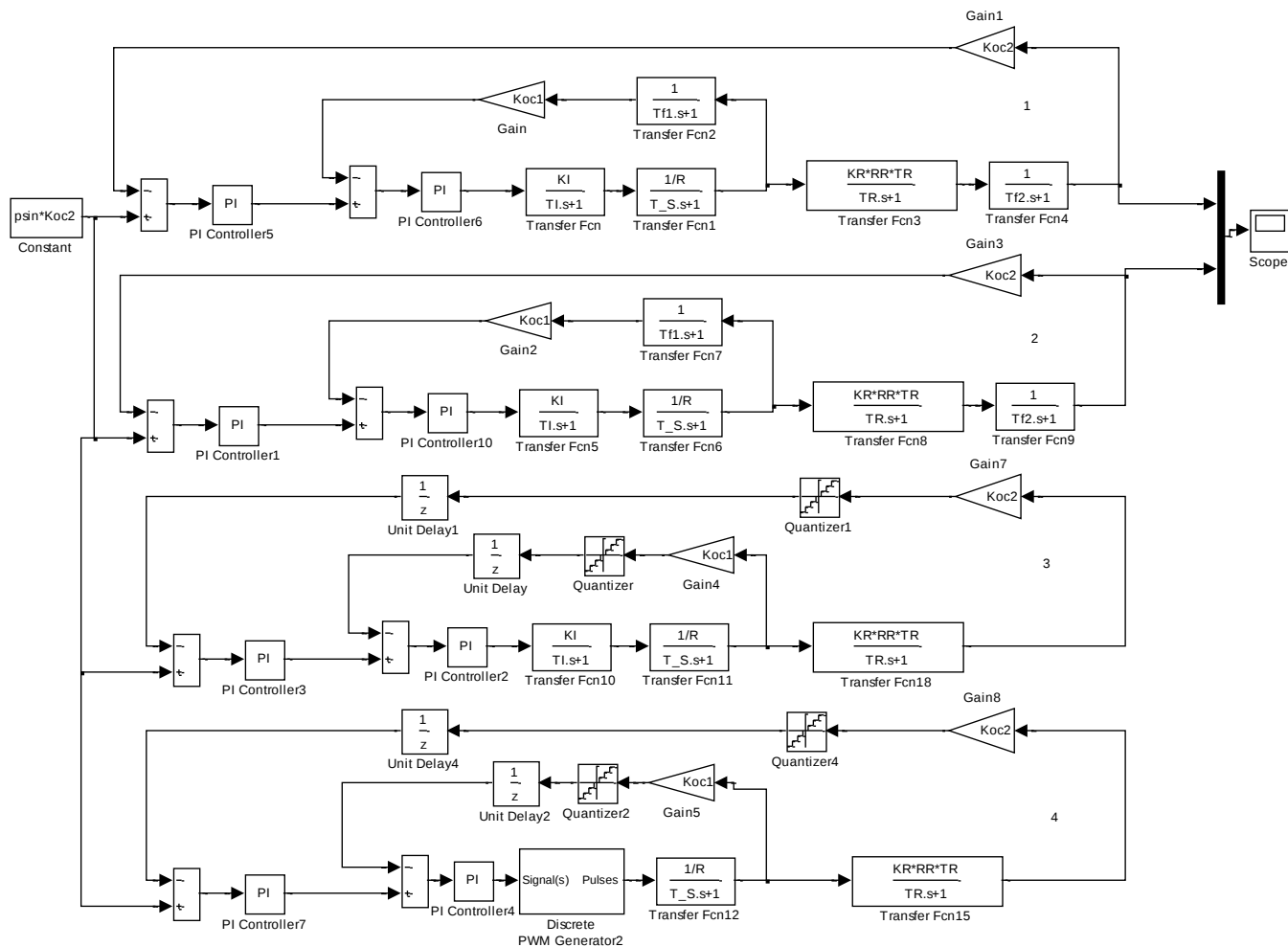


Рисунок 6.18 – Схема модели исследования влияния насыщения, квантования и способа реализации источника тока

В 3-ем контуре введены насыщения регуляторов, квантование и запаздывание сигналов обратных связей по току и магнитному потоку. Источник тока остался идеальным. Результаты сравнения динамических характеристик 2-го и 3-го контуров показаны на рисунке 6.21. Сравнение доказывает возможность использования указанных параметров цепи обратной связи по потоку: перерегулирование и показатель колебательности существенно не увеличились. При этом следует иметь в виду, что обратная связь в контуре тока квантована по уровню и содержит элемент запаздывания. Произведём оценку степени влияния реализации источника тока, на рисунке 6.21 представлены результаты моделирования 2-го и 4-го контуров. Контур 4 реализован на преобразователе с широтно-импульсным управлением. Уточним,

что учтены все факторы: насыщение регуляторов, квантование и запаздывание сигналов обратных связей и практическая реализация источника тока.

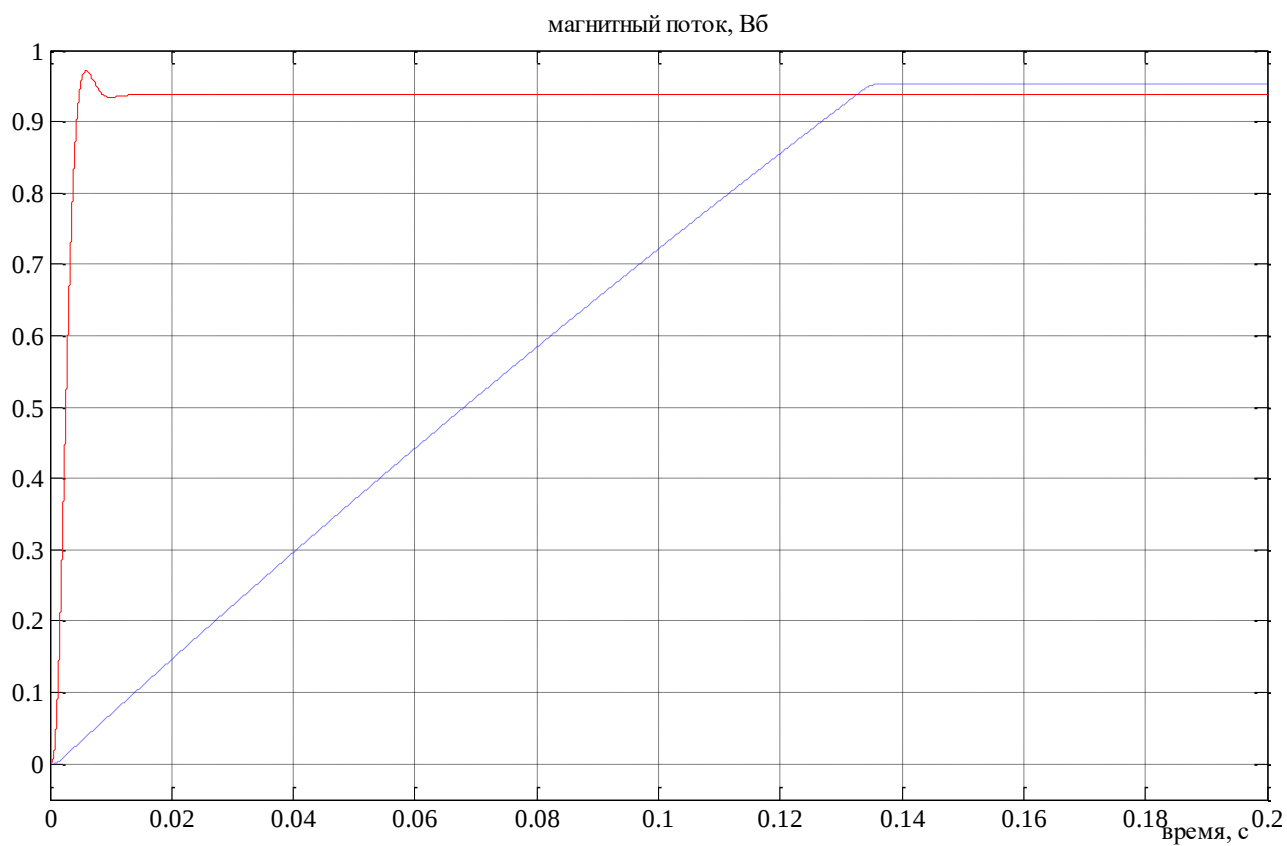


Рисунок 6.19 – Влияние насыщения регуляторов тока и потока

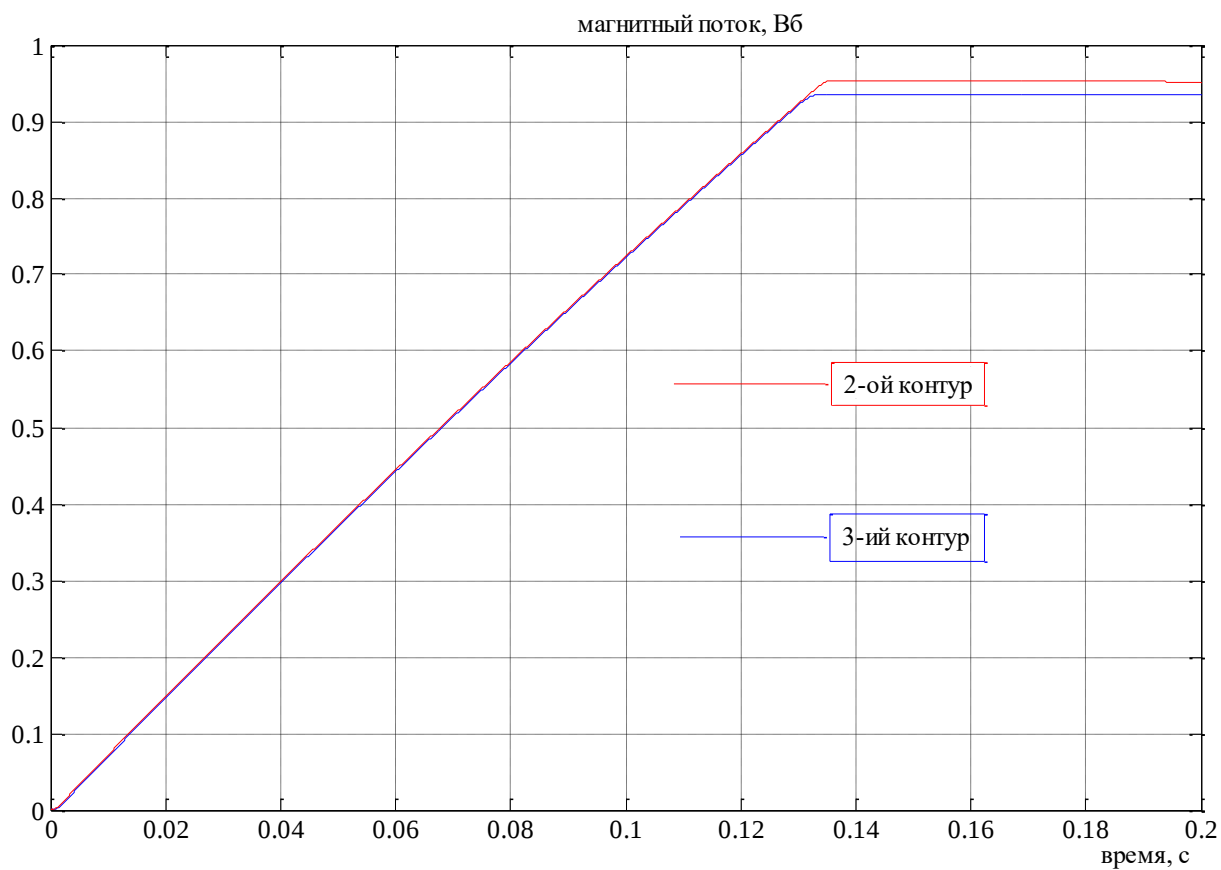


Рисунок 6.20 – Динамические характеристики 2-го 3-го контуров

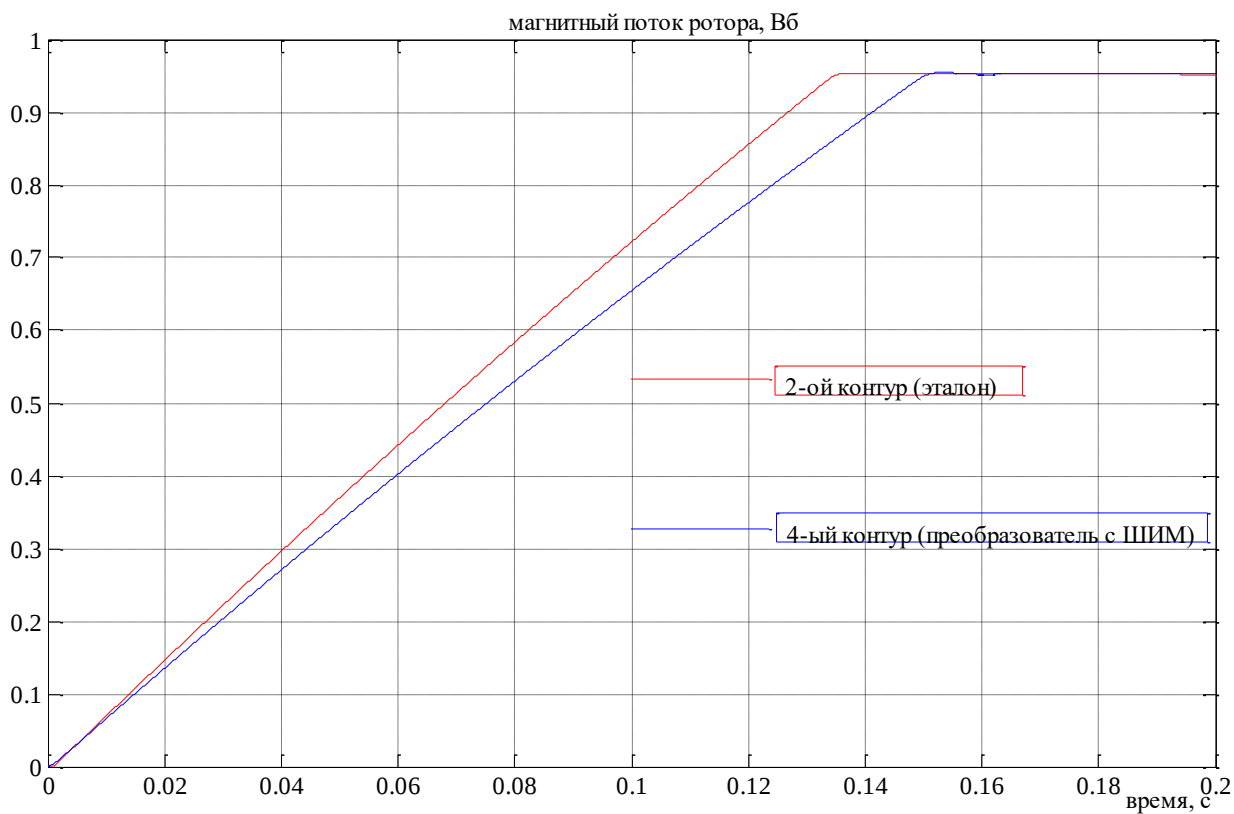


Рисунок 6.21 – Оценка степени влияния реализации источника тока

Анализ полученных результатов моделирования позволяет сделать следующие выводы:

- основное влияние производит насыщение регуляторов, и как следствие ограничение величины максимального напряжения источника тока. Время переходного процесса возрастает примерно в 5 раз относительно оптимального;
- необходимо тщательно подобрать настройку ограничения интеграторов регуляторов. Иначе, качество переходного процесса в контуре потока может оказаться неудовлетворительным;
- при выбранных параметрах цепей обратных связей по току и по потоку существенного влияния на динамические характеристики контура потока не произведено. Но при этом может оказаться, что практически реализовать выбранные параметры либо сложно, либо невозможно;
- пульсации потока отсутствуют, так как постоянная времени обмотки возбуждения (цепи создания потока по оси x) имеет большое значение 0,165с и на несущей частоте 2500Гц пульсации потока не проявляются;
- для дальнейшего проектирования за основу принимаем 4-ый контур потока с выбранными параметрами.

6.7 Расчёт параметров регулятора скорости при идеальном источнике тока

Структурная схема контура скорости показана на рисунке 6.22.

Схема включает:

- контур тока с регулятором тока Current PI Controller, передаточной функцией инвертора Transfer Fcn Invertor, узлом ввода возмущений Sum13, цепью тока Transfer Fcn Current и цепью обратной связи по току;

– контур скорости с регулятором скорости Speed PI Controller, схемой формирования момента T_e (блок Flux, блок умножения Product, усилитель Gain T_e), двигателем Integrator и усилителем $1/J$.

Контур тока был оптимизирован и с учётом этого расчётная схема контура скорости приняла вид, показанный на рисунке 5.23.

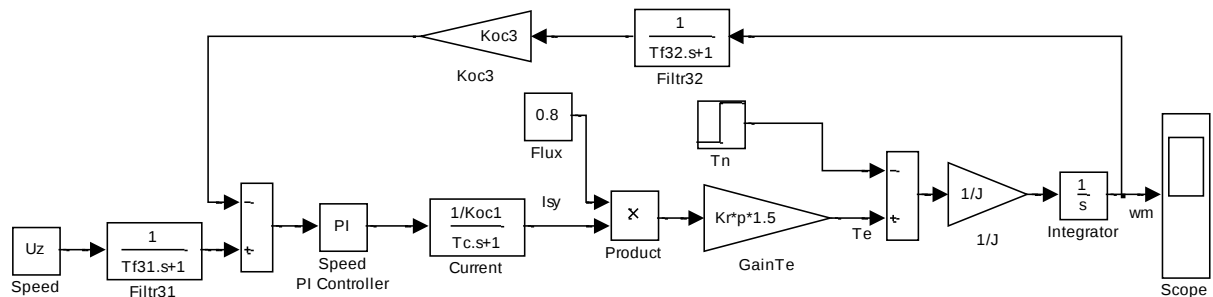


Рисунок 6.22 – Расчётная схема контура скорости

Контур содержит эквивалентный подчинённый контур тока с передаточной функцией:

$$W(s)_c = \frac{1/K_{oc1}}{T_c \cdot s + 1} = \frac{1/0,66}{0,00044 \cdot s + 1}$$

где $T_c = a_k \cdot T_{\mu 1} = 0,00044$ с - эквивалентная постоянная контура тока.

Магнитный поток представлен номинальным значением 0,93713Вб.

Коэффициент усиления блока момента:

$$K_{Te} = \Psi_{Rx} \cdot K_r \cdot p \cdot 1,5 = 0,93713 \cdot 0,98397 \cdot 2 \cdot 1,5 = 2,7663$$

Максимальный момент двигателя:

$$T_{e\max} = K_{Te} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{s\max} = 2,7663 \cdot \sqrt{2} \cdot 67,1 = 262,51 \text{ Нм}$$

Передаточная функция фильтра Filt32:

$$W_{F32(s)} = \frac{1}{T_{f32} \cdot s + 1} = \frac{1}{0,00025 \cdot s + 1}$$

где $T_{f32} = 0,00025$ с - постоянная времени фильтра, которая соответствует периоду опроса данных о частоте вращения 500 мкс.

Двигатель представлен интегрирующим звеном с постоянной времени $T_{Int} = 1$ с и коэффициентом усиления

$$K_{Int} = 1/J = 1/2,73 = 0,3663$$

Коэффициент обратной связи по скорости был вычислен ранее и равен:

$$K_{oc3} = 0.066667$$

Расчёт параметров регулятора скорости произведём по симметричному оптимуму [6]. Все необходимые условия выполнены.

Рекомендуется применение пропорционально-интегрального регулятора с передаточной функцией вида:

$$W(s)_{\Psi} = k_{\Psi} \cdot \frac{T_{\Psi} \cdot s + 1}{T_{\Psi} \cdot s} = 51,153 \frac{0,0082761 \cdot s + 1}{0,0082761 \cdot s}$$

$$K_{pez} = \frac{T_{Int} \cdot K_{oc1} \cdot J}{T_{\mu3} \cdot a_k \cdot K_{Te} \cdot K_{oc3}} = \frac{1 \cdot 0,10538 \cdot 2,73}{0,00125 \cdot 2 \cdot 2,7663 \cdot 0,06667} = 623.98$$

$T_{\mu3} = T_c + T_{f32} = 0,001 + 0,00025 = 0,00125$ с - малая постоянная времени контура скорости; $T_{из} = a_k \cdot b_k \cdot T_{\mu3} = 2 \cdot 2 \cdot 0,00125 = 0,005$ с - эквивалентная постоянная времени контура скорости;

$a_k = b_k = 2$ - коэффициенты оптимизации.

Переходные процессы в оптимизированном по симметричному оптимуму контуре характеризуются большим перерегулированием и колебательностью, причиной которых является форсирующее звено в числителе передаточной функции регулятора. Компенсация форсирующего

эффекта достигается установкой в канале задания инерционного звена (фильтра) Filtr31 с передаточной функцией

$$W(s)_{F31} = \frac{1}{T_{\Psi} \cdot s + 1} = \frac{1}{0,0082761 \cdot s + 1}$$

Таким образом, рассчитав все параметры контура скорости, разработаем модель в Simulink. Модель реализована на элементах библиотеки Simulink, за исключением регулятора скорости Speed PI Controller, схема модели которого открывается по команде Look Under Mask.

Блок Speed задаёт частоту вращения ротора. Частота вращения задаётся в виде напряжения. Для установленных параметров задающему напряжению в 10В соответствует частота вращения ротора 150 1/с. На рисунке 5.24 представлена модель контура, повторенного дважды. Это сделано для построения кривых переходного режима для двух разных значений задающего напряжения. Напомним, что на регулятор скорости не наложены ограничения, источник тока (инвертор) идеальный, поэтому должен формироваться оптимальный режим управления (см. рисунок 6.23).

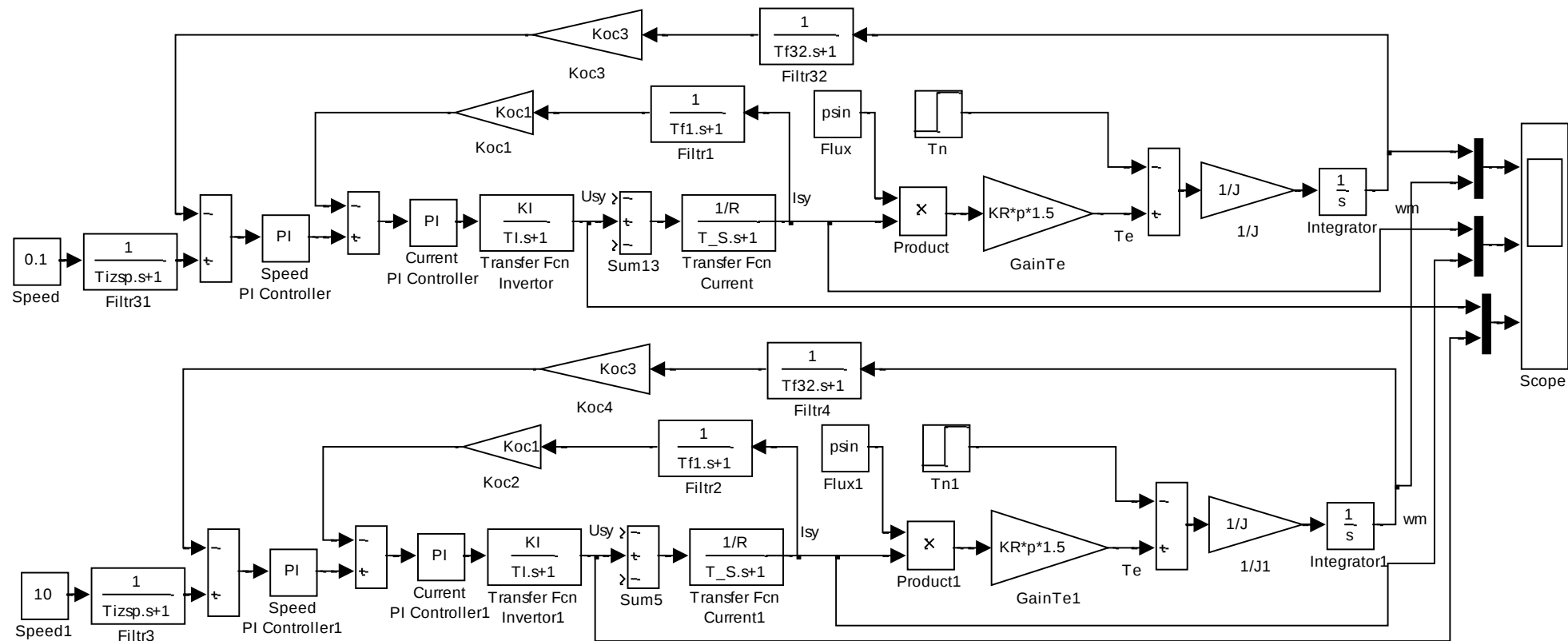


Рисунок 6.22 – Схема модели оптимизированного контура скорости с идеальным источником тока

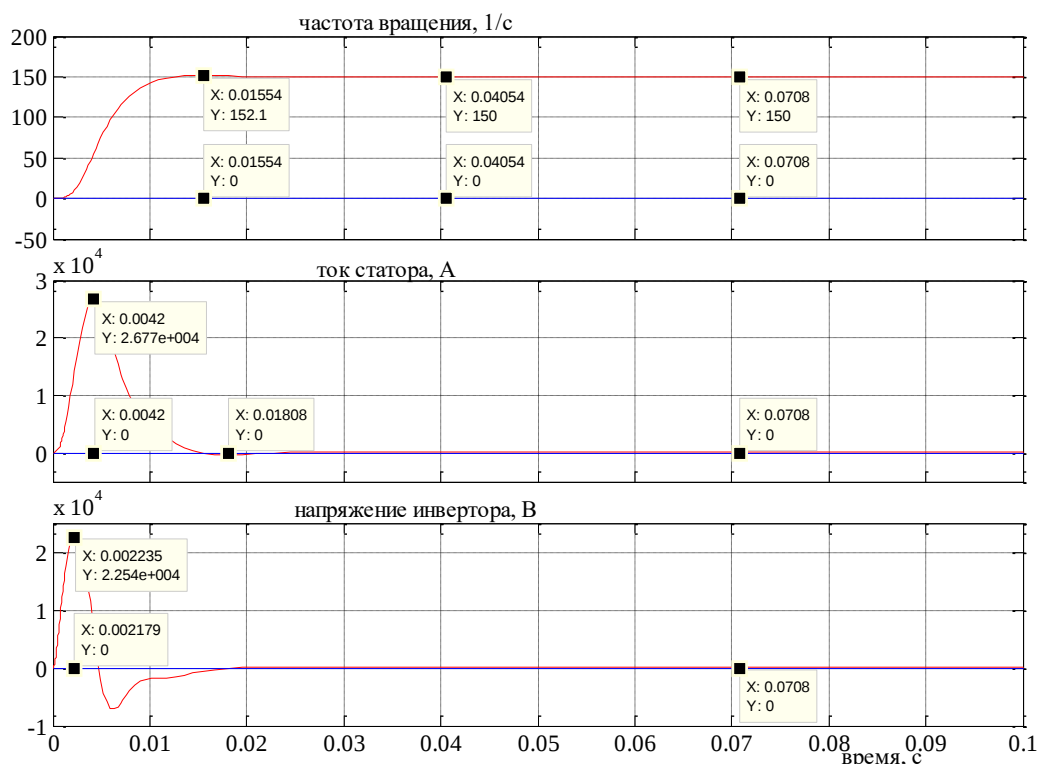


Рисунок 6.23 – Оптимизированный переходный процесс в контуре скорости при управлении по входу 10В

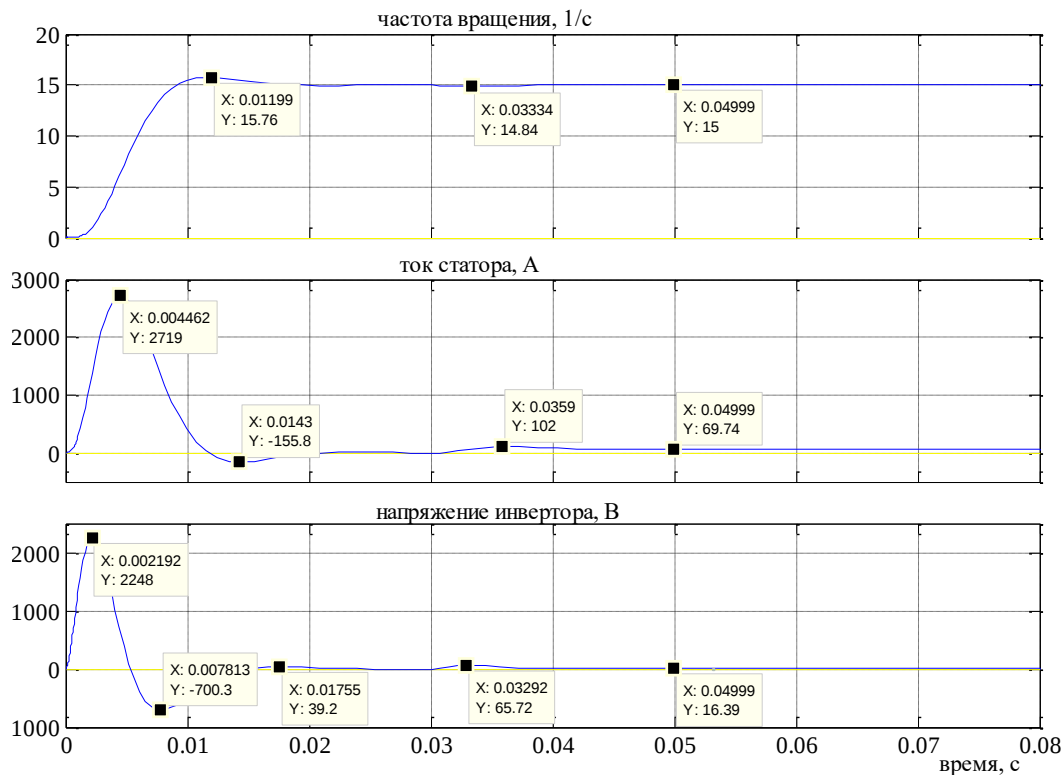


Рисунок 6.24 – Оптимизированный переходный процесс в контуре скорости при управлении по входу 1В

Исследование проведено для двух задающих напряжения: 10 и 1В. Показатели переходных процессов близки к оптимальному, соответствующие расчёты можно выполнить. Обратим внимание на реакцию источника тока (инвертора) при осуществлении оптимального управления. Напомним, что при расчёте параметров регулятора скорости было принято допущение о идеальности источника тока.

При управлении в «большом» (подача на вход 10В) двигатель запускается с оптимальными параметрами на частоту вращения 150 1/с. Для этого должен источник тока создать во времени максимальное напряжение 22.540В и ток в нагрузке 26.770А. В действительности максимальное выходное напряжение инвертора 311,1В и предельный ток статора 94,89А. Следовательно, реально при управлении в «большом» оптимального быстродействия не достичь

При подаче на вход задающего напряжения 1В ситуация с выходными параметрами источника тока ближе к реальной (см. кривые переходного режима синего цвета на рисунке 6.25) и действительно параметры переходного режима приближаются к оптимальным. В модели на рисунке 6.23 пуск выполняется без нагрузки, в момент времени 0,03с к валу двигателя прикладывается момент сопротивления номинального значения. Провал скорости на 0,033 1/с полностью устраняется за время, менее 0,005с. Пропорционально-интегральный регулятор скорости выполнил своё назначение.

6.8 Исследование влияния насыщения регуляторов, квантования и запаздывания сигнала обратной связи

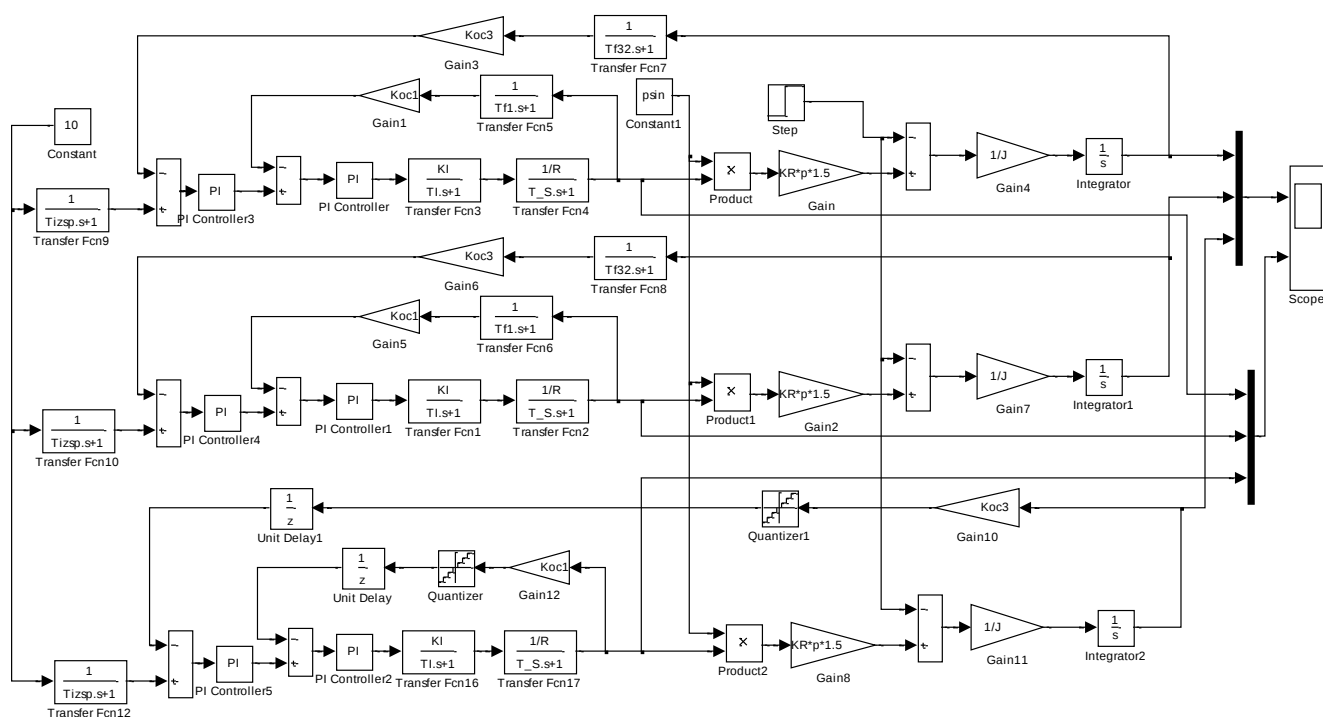


Рисунок 6.25 – Схема модели контура скорости с тремя настройками

На рисунке 6.26 показана схема модели, состоящая из трёх контуров скорости с различными настройками: первый контур оптимизированный – идеальный, регуляторы тока и скорости не ограничены; второй контур с ограничениями регуляторов; третий – с ограничением регуляторов, с квантованием и задержкой (запаздыванием) сигналов обратной связи по току и частоте вращения. На рисунке 6.2 продемонстрированы результаты моделирования две диаграммы: частоты вращения и тока двигателя, переходные процессы протекают в подвижной (синхронной) системе координат. Введение ограничения регуляторов (и тока, и скорости) привело к ограничению тока и напряжения источника питания до реальных границ, что привело к снижению быстродействия контура примерно в три раза. Запуск двигателя осуществлялся без нагрузки. Наброс нагрузки произведён в момент

времени 1,56с. Анализ результатов моделирования переходных режимов во втором и третьем контурах позволяют сделать вывод о незначительном влиянии выбранных параметров цепи обратной связи по частоте вращения. Уровень квантования соответствует использованию двенадцатизрядного ЦАП, период подготовки данных о частоте вращения (запаздывание) соответствует значению $T_{f32} = 0,00025$ с. Эта информация необходима для выбора типа контроллера, осуществляющего подготовку информации в цепи обратной связи по частоте вращения.

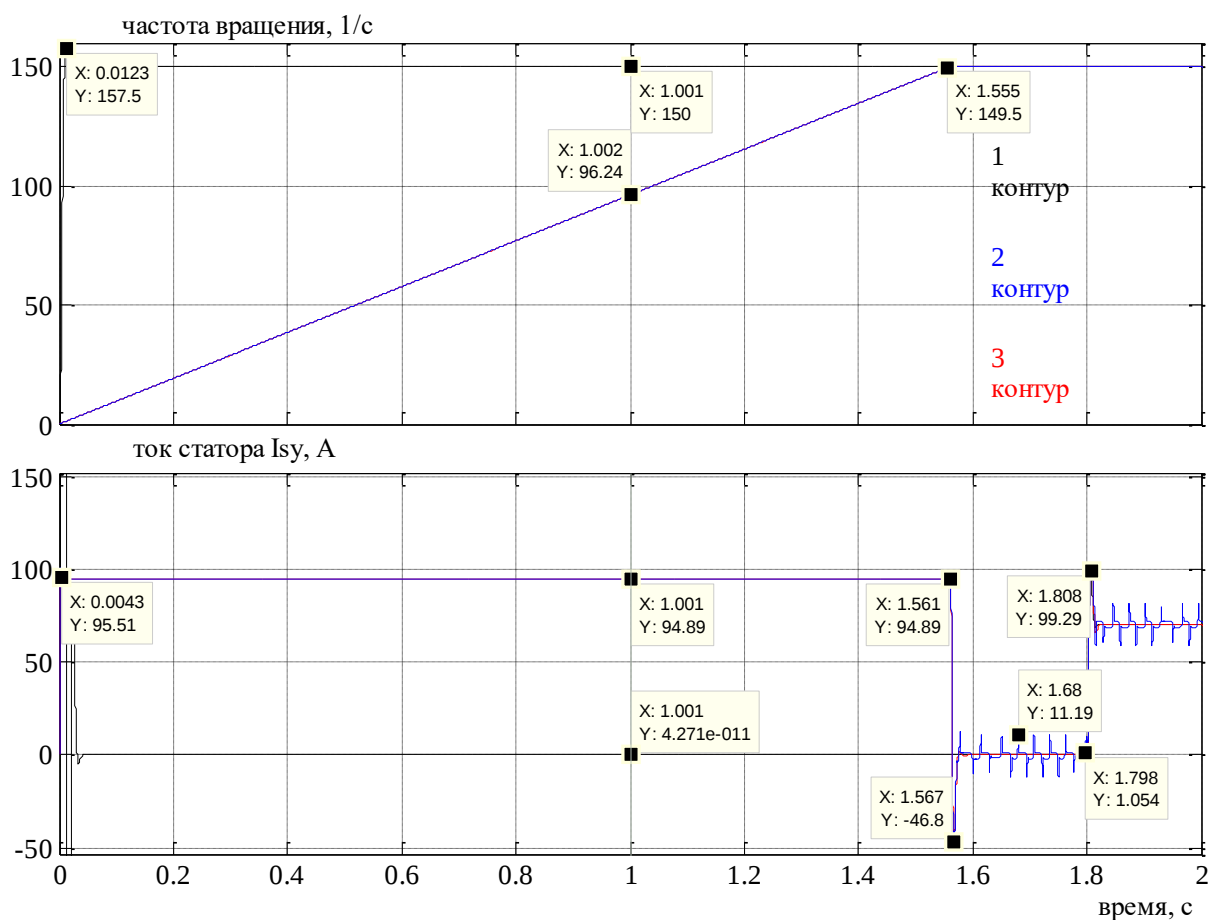


Рисунок 6.26 – Результаты моделирования контура скорости при ограничении регуляторов тока и скорости (2 контур), квантования и запаздывании сигналов обратных связей (3 контур)

Исследуем поведение контуров при подаче на вход задающего сигнала в 0,01В (см. рисунок 6.28). Запуск двигателя осуществлялся без нагрузки. Наброс нагрузки произведён в момент времени 0,5с. Это исследование позволяет в принципе ответить на вопрос: способна ли спроектированная структура обеспечить работу электропривода в диапазоне регулирования.

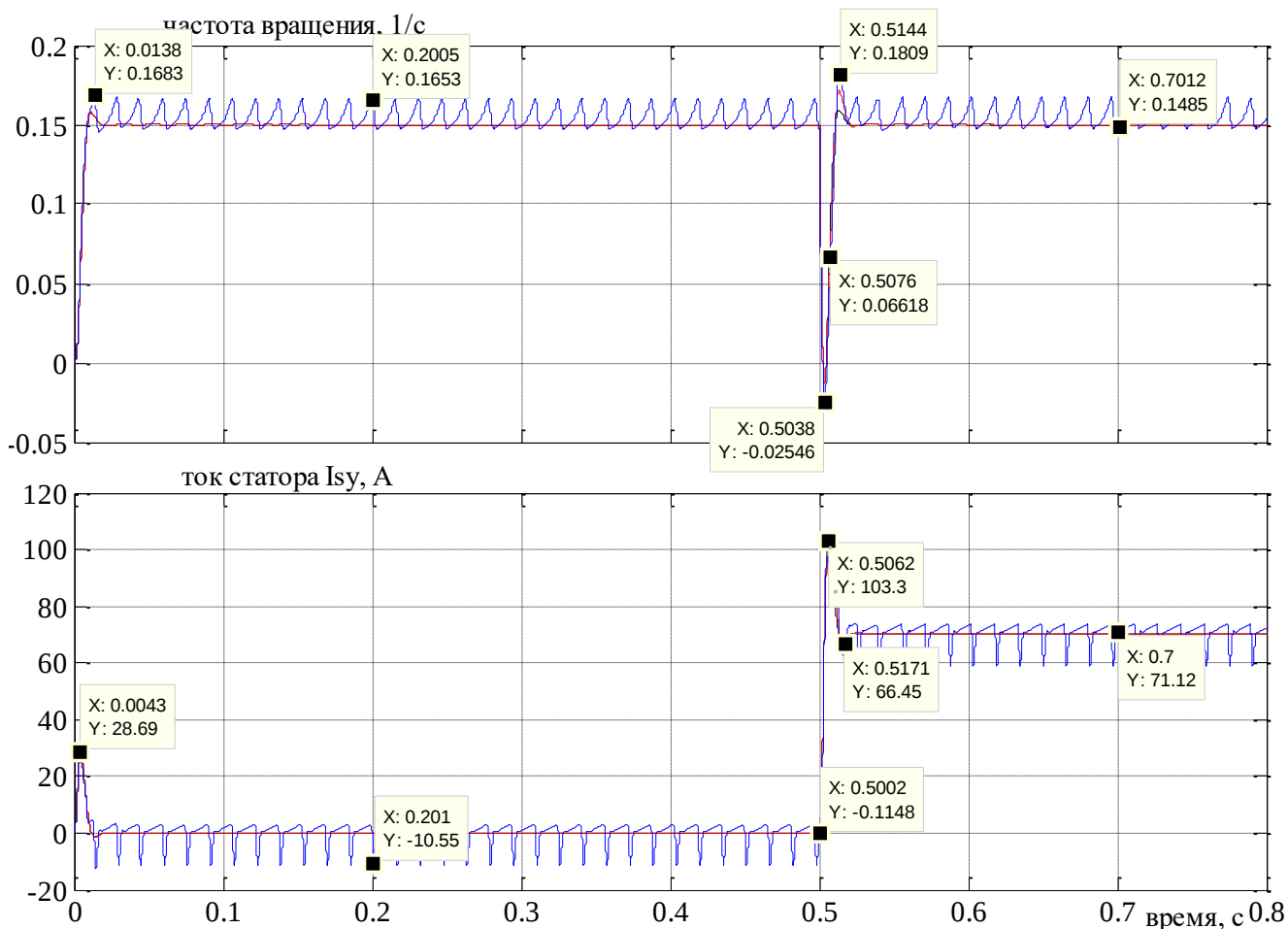


Рисунок 6.27 – Реакция контура скорости на управление 0,01В

Переходные характеристики 1 и 2 контуров не отличаются друг от друга и представлены, на рисунке синим цветом. Переходная характеристика 3 контура показана красным цветом. Анализ результатов исследования приводит к следующим выводам:

– регуляторы не насыщаются, и все контуры соответствуют оптимальным настройкам;

- задание уверенно и достоверно отработано (сформирована на выходе в среднем частота вращения $0,15 \text{ 1/с}$);
- возмущение в виде номинальной активной нагрузки приводит к уменьшению частоты вращения до отрицательного значения, так как момент нагрузки активный. Частота вращения за счёт действия ПИ-регулятора скорости восстанавливается на заданном уровне;
- запаздывание и квантование сигнала обратной связи по частоте вращения начинает проявляться, но существенного влияния не оказывает. Будем считать, что эти параметры цепи обратной связи по частоте вращения могут быть приняты за основу.

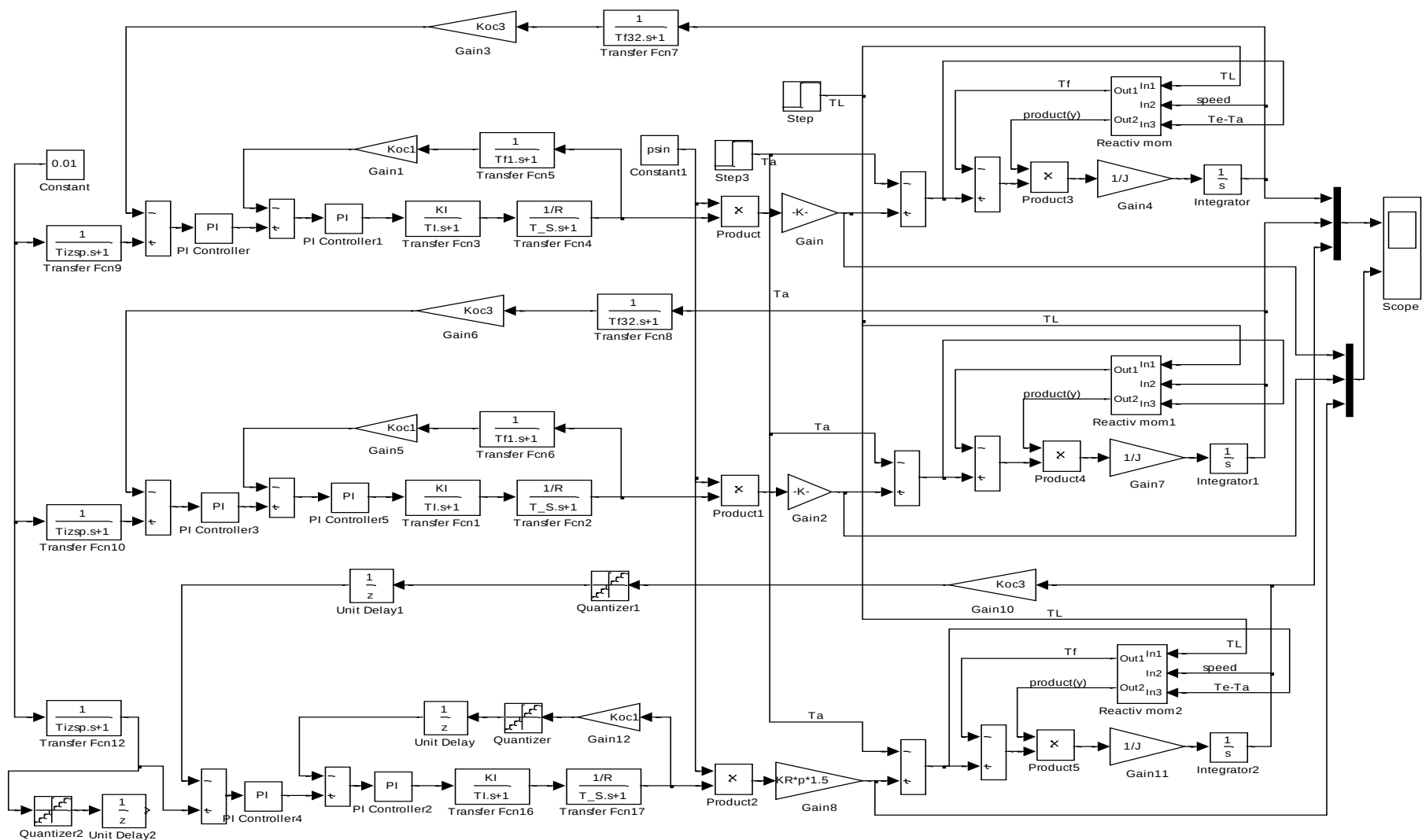


Рисунок 6.28 – Схема модели, учитывающая действие любого момента сопротивления – активного и реактивного

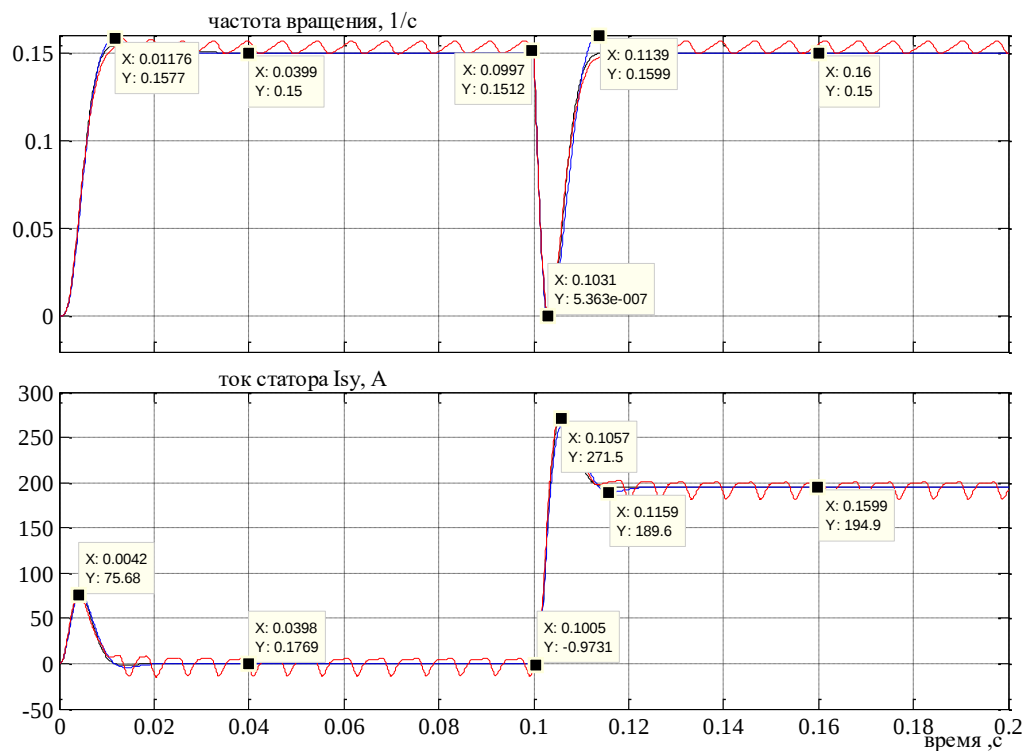


Рисунок 6.29 – Пуск на малую скорость с последующим наложением реактивной нагрузки

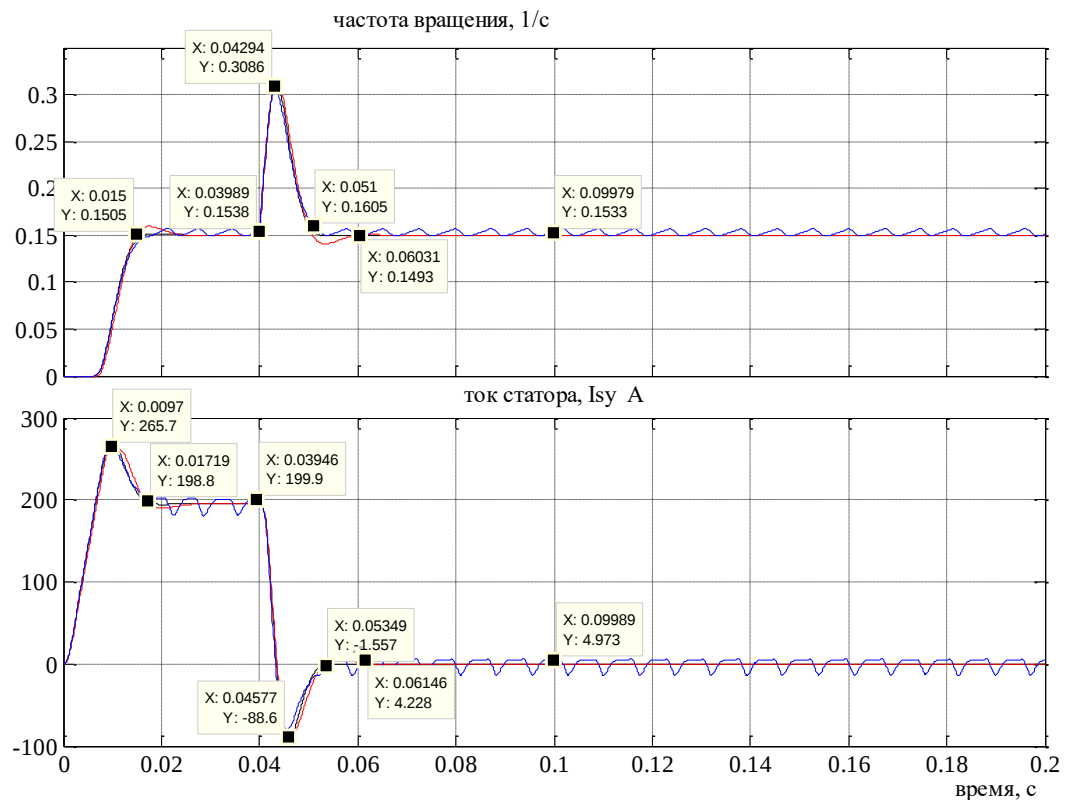


Рисунок 6.30 – Моделирование пуска при нагрузке реактивного характера на малую скорость с последующим сбросом до нулевого значения

Исследуем пуск на малую частоту вращения без нагрузки, с нагрузкой с последующим наложением или сбросом нагрузки реактивного характера T_L (см. рисунок 6.31 и 6.32). Отметим, что отрицательная скорость при воздействии реактивной нагрузкой не появляется. Из нижней диаграммы следует, что скорость начинает восстанавливаться при достижении тока статора статического тока нагрузки. На рисунке 6.31 более четко представлено влияние квантования и запаздывания сигнала обратной связи. Кроме того, введено квантование и запаздывание входного сигнала. Проведём исследование пуска двигателя на малую скорость с реактивным моментом нагрузки номинального значения с последующим сбросом нагрузки до нулевого уровня. Результаты моделирования представлены на рисунке 6.32. Разгон двигателя начинается при выполнении условия: текущее значение электромагнитного момента должно достичь заданного момента реактивной нагрузки. Это произошло в момент времени чуть более 0,015с. Двигатель разогнался на заданную скорость 0,151/с.

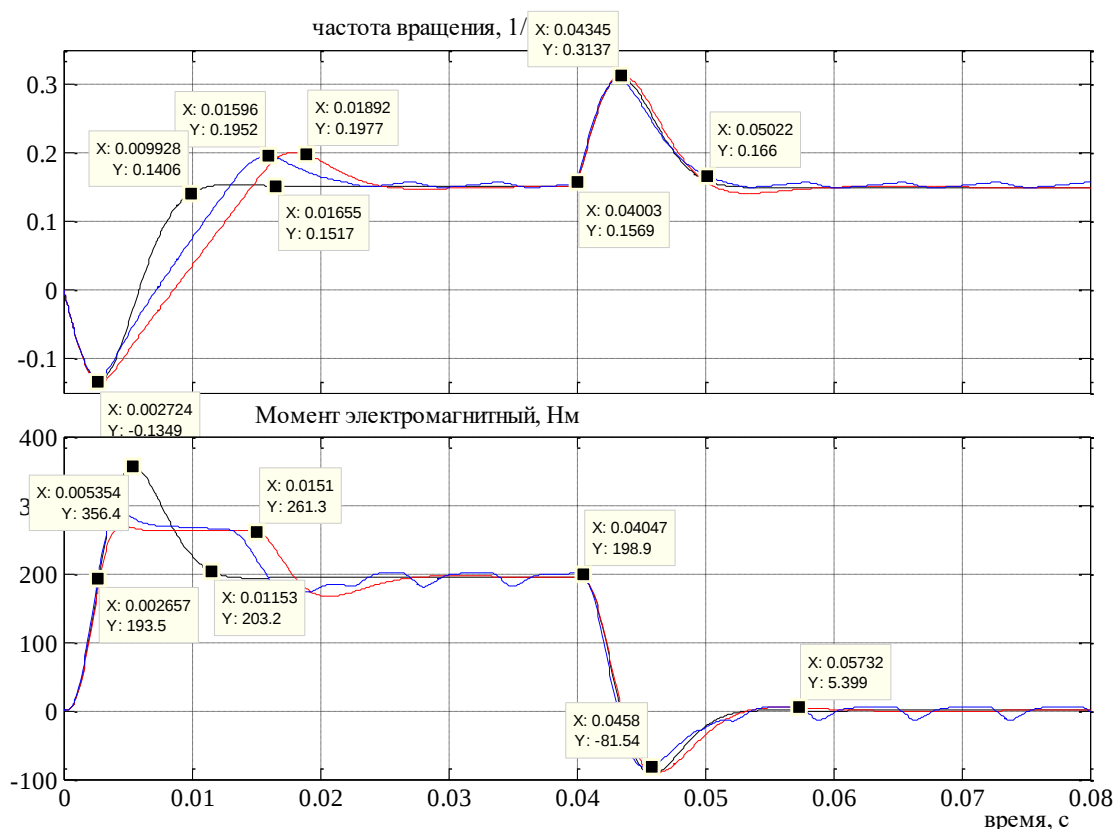


Рисунок 6.31 - Моделирование пуска при нагрузке активного характера на малую скорость с последующим сбросом до нулевого значения

Проведём моделирование при этих же условиях, но с активным моментом нагрузки (см. результаты исследования на рисунке 6.33). Выведем на второй вход осциллографа индикацию момента (картинки по моменту и току различаются только масштабом, качественно они соответствуют друг другу).

При сравнении с рисунком 6.32 следует указать на принципиальное различие процесса пуска. В первом случае (воздействие реактивного момента сопротивления) привод начинает пускаться, когда текущее значение тока (электромагнитного момента) достигнет заданного значения на входе и превысит это значение. Так как момент реактивный, то работу он не может производить.

Во втором случае момент активный, он сразу начинает производить работу. Так как в нулевой момент времени действует активный момент номинального значения, а текущее значение электромагнитного момента двигателя составляет нулевое значение, то двигатель под действием активного

момента начинает разгоняться в отрицательном направлении. В это же время растёт электромагнитный момент двигателя в соответствии со своими инерционностями. Как только момент двигателя сравняется с активным моментом сопротивления, разгон двигателя в отрицательном направлении прекращается и при дальнейшем росте момента двигателя приращение частоты вращения меняет знак и начинается процесс пуска в нужном направлении. Скорость достигает нулевого значения и далее становится положительной. Сброс нагрузки протекает одинаково в обоих случаях.

6.9 Компьютерное моделирование двухдвигательного электропривода механизмов центрифуги в MATLAB

Разработана модель двухдвигательного асинхронного электропривода с заданным отставанием в среде MATLAB, приведенная на рисунке 6.33.

Система двухдвигательного асинхронного электропривода смоделирована специальным инструментом Simulink в программе MATLAB. Simulink позволяет с высокой точностью имитировать все статические и динамические режимы работы асинхронных электродвигателей. Программная библиотека Simpowersystem имеет практически все необходимые блоки для построения системы управления. Разработанная модель имитирует параллельную работу двух асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором (M1, M2), мощностью 30кВт и 7,5кВт.

Управляются M1, M2 двумя отдельными частотными преобразователями, запитанными от одного источника напряжения ($U=380\text{В}$, $f=60\text{ Гц}$). Частотные преобразователи составляют из себя совокупность: выпрямительных блоков с неуправляемым диодным мостом по схеме Ларионова (R1, R2);

- звена постоянного тока с конденсатором для сглаживания пульсации;
- автономных инверторов напряжения на IGBT транзисторах (I1, I2).

В данной задаче важнейшим критерием устойчивости работы модели является отставание роторов M1, M2, в зависимости от различных динамических возмущений (изменение момента сопротивления на валу).

Согласно рисунку 6.33, регулирование скорости поддержанием заданного рассогласования двух виртуальных асинхронных двигателей M1, M2, происходит за счет подачи задающего значения через S-образный задатчик интенсивности в блоки векторного управления с косвенной ориентацией по потокосцеплению ротора (блоки VC1, VC2), на выходе которых формируются задающие импульсы для формирования ШИМ в инверторах I1 и I2. Система векторного управления с косвенной ориентацией по потокосцеплению ротора

представлена на рисунке 6.34 (блок Vector control). Она состоит из следующих блоков:

- ПИ-регулятора (speed controller), задающего сигнал при изменении реальной скорости от заданной;
- блока подсчета задающего тока I_q^* потокосцепления относительно реального потокосцепления ротора (I_{qs}^* calculation);
- блока подсчета задающего тока I_d^* по созданию вращающего момента двигателя (I_d^* calculation);
- блока «dq to ABC», преобразующего вращающуюся двухфазную систему координат в неподвижную трехфазную;
- гистерезисного регулятора тока (Current regulator). В открывающемся окне настройки этого блока указывается ширина «токового коридора». На вход блока поступают сигналы задания токов в фазах и сигналы обратной связи реальных токов фаз a,b,c.

Осциллограммы скорости вращения и электромагнитного момента переходного процесса двухдвигательного асинхронного электропривода показаны на рисунке 6.12.

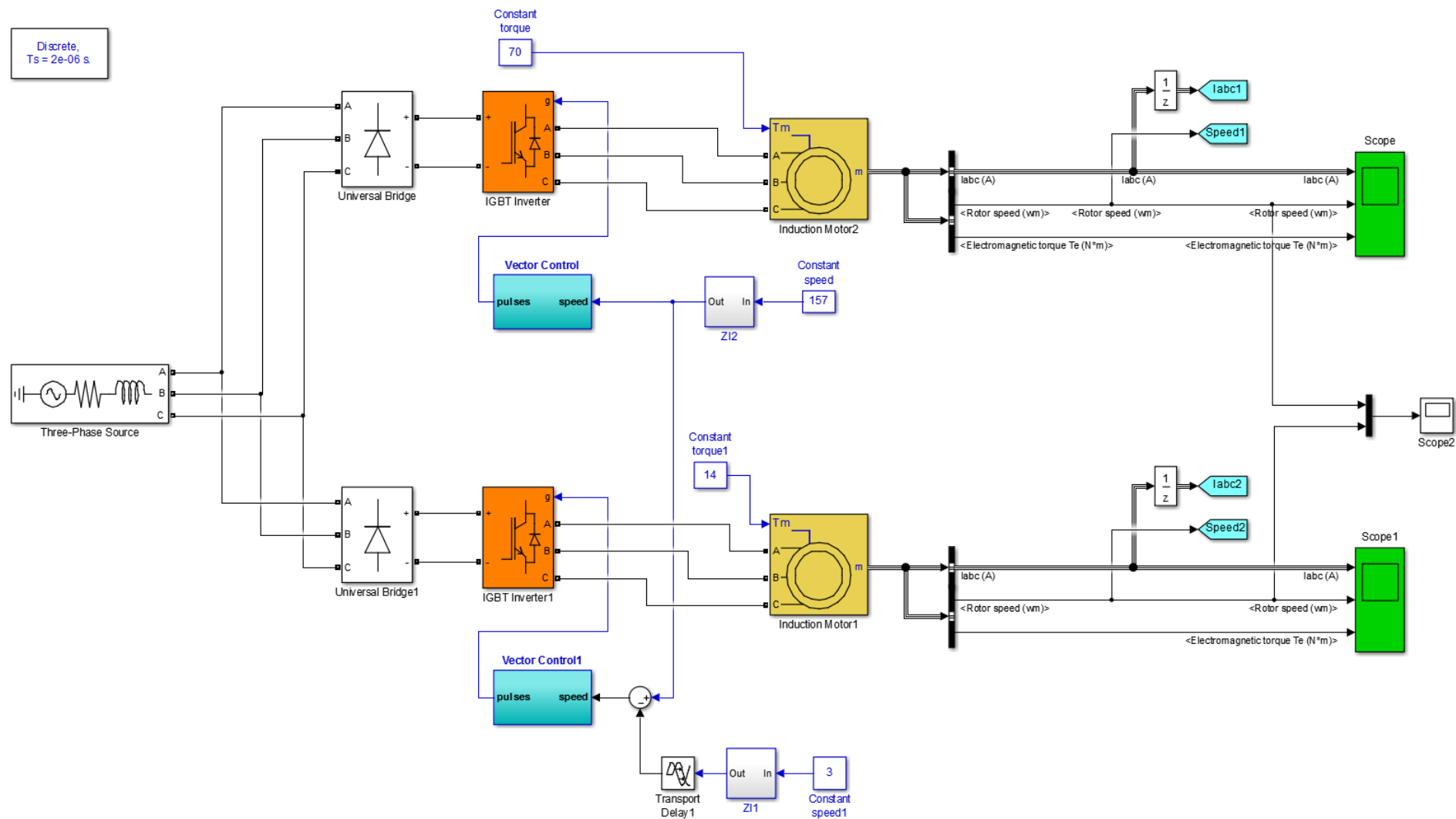


Рисунок 6.33 – модель двухдвигательного асинхронного электропривода с заданным отставанием

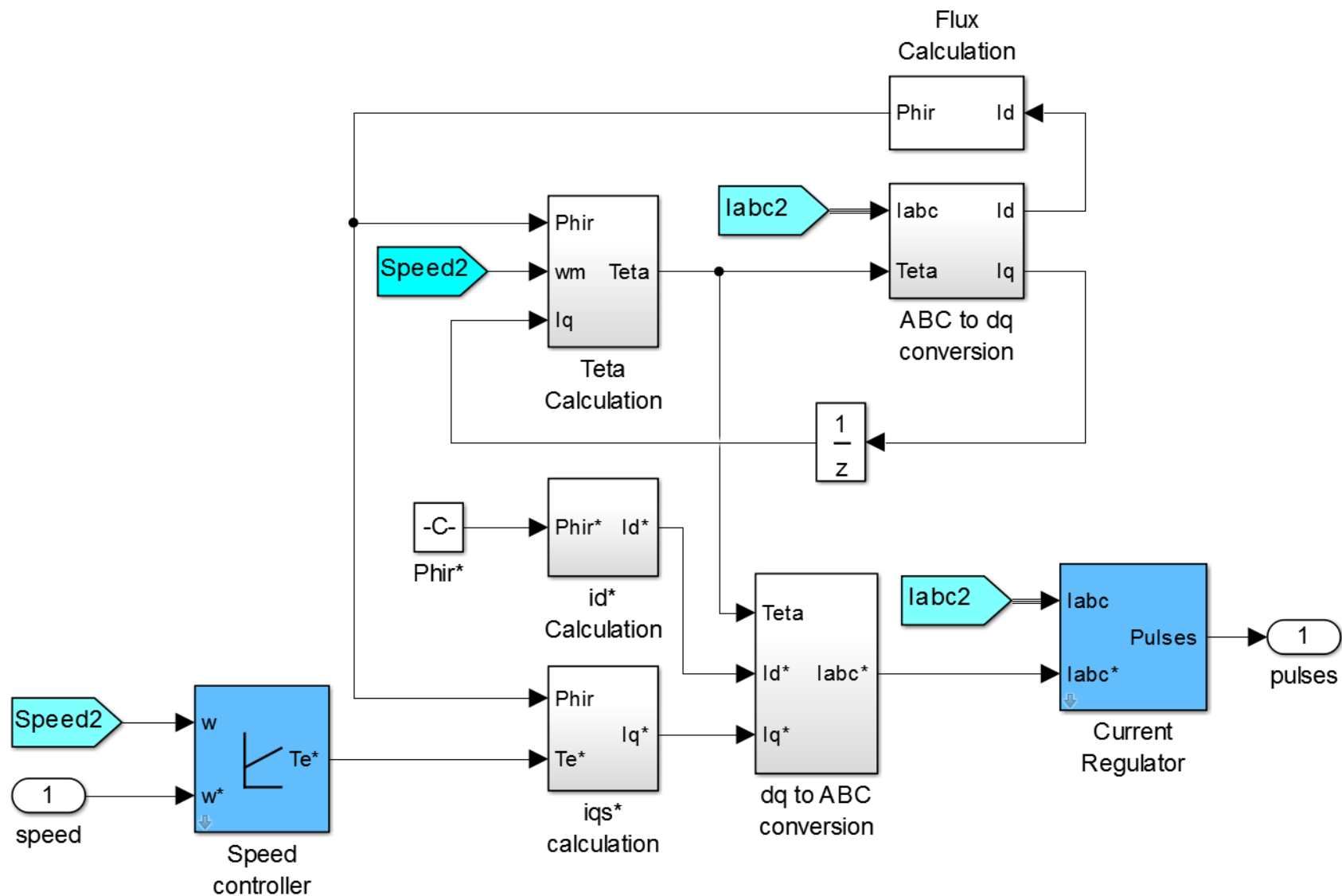


Рисунок 6.34 – Система векторного управления с косвенной ориентацией по потокосцеплению ротора

Схема S-образного задатчика интенсивности приведена на рисунке 6.35

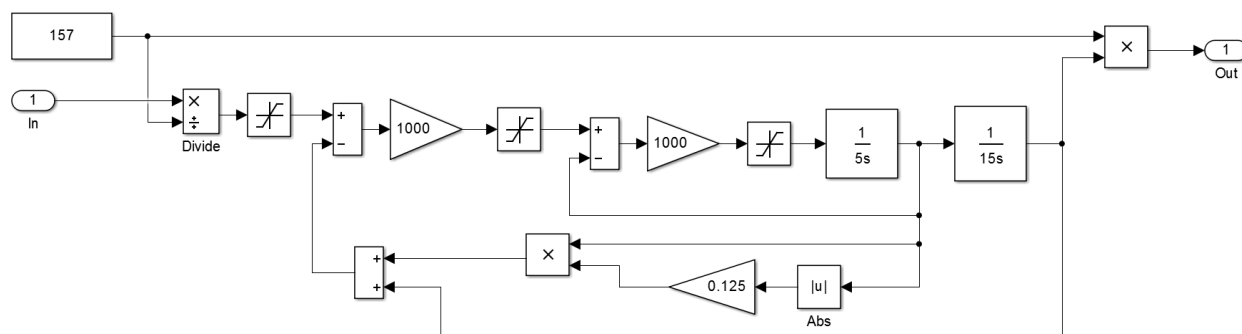


Рисунок 6.35 – Схема S-образного задатчика интенсивности

Параметры настройки имитационной модели задатчика интенсивности с S-образной характеристикой:

$$T_{и1}=t_1$$

$$T_{и2}=t_1+ t_2$$

$$k=0.5 \cdot t_1/ t_1+ t_2$$

Заключение

Выпускная квалификационная работа выполнена в соответствии с заданием на проектирование.

В данной работе рассмотрена технология очистки буровых растворов от механических примесей центрифугированием. По научно-учебной литературе рассмотрен принцип работы центрифуг, а также приведены расчеты по осадительной центрифуге GEA. В работе проведено исследование электропривода ротора осадительной центрифуги, произведен расчет, момента инерции ротора $J_{рт} = 2,5956 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ суммарный момент инерции учитывающий инерционность как самой машины, так и приведенной к валу инерционности рабочего механизма и редуктора, $J_{\Sigma} = 2,73 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$.

Для реализации исследования асинхронного электропривода использовался современный мощный программный продукт *Simulink* (Matlab). Виртуальные модели асинхронного двигателя, созданные, в *Simulink* позволили выполнить процесс исследования электропривода, который в реальной действительности полностью реализовать трудно.

Для исследования в *Simulink* использовалась методика проектирования и исследования асинхронного электропривода, а также технические данные электропривода и преобразователя частоты модели FC302 фирмы Danfoss.

Мощность двигателя $P_{\text{н}} = 30 \text{ кВт}$, частота вращения двигателя $n_{\text{н}} = 1475 \text{ об/мин}$, $I_{\text{н}} = 56,6 \text{ А}$.

ПЧ с точностью регулирования от 30-4000 об/мин, перегрузочная способность по мощности $P_{\text{н}} = 37 \text{ кВт}$ и по току $I_{\text{н}} = 67,1 \text{ А}$.

Разработана структура векторного частотно-токового управления, сделано математическое описание асинхронной короткозамкнутой машины, определены параметры схемы замещения асинхронной машины.

На моделях, созданных в *Simulink* (Matlab) проведены ряд исследований: контура тока, контура управления магнитным потоком, влияния насыщения

регулятора квантования сигнала токовой обратной связи по уровню и по времени, влияние реальных свойств преобразователя частоты на статические и динамические свойства контура тока, а также ряд других исследований.

Полученные расчетные характеристики с отдельными числовыми координатами представлены в графическом виде.

Имитационное исследование в *Simulink* проводилось в режимах работы привода: на малой, средней и большой скорости; с номинальной нагрузкой и нагрузкой 70Нм, продемонстрирована работа привода с реактивной и активной нагрузкой момента; отработан режим пуска и реверса с векторным управлением.

Вывод: исследуемый электропривод уверенно работает в заданном диапазоне с различным характером нагрузки, привод выполняет все задания и при воздействии нагрузки номинального значения астатические свойства системы не нарушаются во всём диапазоне частоты вращения.

Представлены результаты анализа безопасности и экологичности ВКР. Проанализирован микроклимат помещения и рассмотрены шумы, произведен расчет освещения, рассмотрены мероприятия по пожарной безопасности и охране окружающей среды.

Рассмотрены организация и планирование работ по разработке темы и расчет затрат. Произведена оценка экономической эффективности разработки.

Таким образом, выпускная квалификационная работа выполнена в соответствии с выданным заданием, исследуемый электропривод ротора осадительной центрифуги выполняет поставленные задачи и может использоваться в системе АСУ ТП установки очистки буровых растворов от механических примесей.

Список использованных источников

1. Приготовление, очистка и дегазация буровых растворов / В.И. Мищенко и А.В. Картунов, Краснодар: Арт Пресс, 2008. 330 с.
2. Бурение и освоение нефтяных и газовых скважин, Курс лекций. / А.В. Епихин. Томск, 2013 .— 94 с. : ил.
3. Буровые промывочные жидкости / В.П. Овчинников, Н.А. Аксенова —Кафедра «Бурение нефтяных и газовых скважин» Тюмень, 2008 309 с.
Расчет и конструирование шнековых центрифуг / И. А. Файнерман ; Под ред. О. В. Маргулиса .— М. : Машиностроение, 1981 .— 133 с. : ил.
4. Сборник задач по теоретической механике : учебное пособие для вузов / И. В. Мещерский ; под ред. Н. В. Бутенина, А. И. Лурье, Д. Р. Меркина .— 32-е изд., перераб. — М. : Наука, 1986 .— 448 с. : ил.
5. Теоретическая механика в примерах и задачах : Учебное пособие для вузов : В 2 томах / М. И. Бать, Г. Ю. Джанелидзе, А. С. Кельзон ; Под ред. Г. Ю. Джанелидзе, Д. Р. Меркина .— 5-е изд., стереотип. — М. : Наука, 1972.
6. Онищенко, Г. Б. Электрический привод : учебник для вузов / Г. Б. Онищенко .— М. : РАСХН, 2003 .— 320 с. : ил. — Библиогр.: с. 307.
7. Зимин, Евгений Николаевич. Автоматическое управление электроприводами : учебное пособие для вузов / Е. Н. Зимин, В. И. Яковлев .— М. : Высшая школа, 1979 .— 318 с. : ил. — Литература: с. 316.
8. Браславский, Исаак Яковлевич. Энергосберегающий асинхронный электропривод : учебное пособие для вузов / И. Я. Браславский, З. Ш. Ишматов, В. Н. Поляков .— М. : Академия, 2004 .— 248, [8] с. : ил. — (Высшее профессиональное образование, Электротехника) .— Допущено УМО по образованию в области энергетики и электротехники в качестве учебного пособия .— Библиография: с. 241 - 246.

9. Проектирование и исследование асинхронного электропривода с векторным управлением в среде MATLAB : учебное пособие / В. Б. Терехин ; РОСАТОМ, Северская государственная технологическая академия .— Северск : Изд-во СГТА, 2009. Ч. 1: Структура асинхронного двигателя в Simlink .— 2009 .— 61, [1] с. : ил. — Библиогр.: с. 61
10. Безопасность жизнедеятельности. Учебник для вузов/ С.В. Белов, А.В. Ильницкая, А.Ф. Козьяков и др.; Под общей редакцией С.В. Белова. – М.: Высшая школа, 1999.
11. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 "Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы".
12. Санитарные нормы СН 2.2.4/2.1.8.562-96 "Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки".
13. Удут Л. С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование и исследование электроприводов. Часть 1. – Введение в технику регулирования линейных систем. Часть 2. – Оптимизация контура регулирования: Учебное пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 2000. – 144 с.
14. Удут Л. С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Часть 5. – Применение программы DORRA-FUZZY в расчётах электроприводов постоянного тока: Учебное пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 2002. – 156 с
15. Терехов В. М., Осипов О. И. Системы управления электроприводов: Учебник для студ. высш. учеб. заведений. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 304 с.
16. Усынин Ю. С. Системы управления электроприводов: Учебное пособие. – 2-е изд., испр. и доп. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2004. – 328 с.

Приложение А

Electric drive horizontal precipitation centrifuge

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ4А	Исаев Кирилл Сергеевич		

Консультант кафедры ЭПЭО

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. ЭПЭО	Ляпунов Д.Ю.	к.т.н.		

Консультант – лингвист кафедры ИЯЭИ

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. ИЯЭИ	Токмашев Д.М.	к.ф.н.		

Content

Abstract	138
Introduction	139
1. Centrifuge structure and work overview	140
2. Instrumentation and Control	150
3.1. Controllers	152
3.2 CIP	155
4. VLT [®] AutomationDrive FC 300 features.	156
Features and benefits	156
4.1 Drive Configurator	158
Conclusion.....	160
References	161

Abstract

In this paper a brief overview of the technological process of oil solution purification solids is given, the description of the construction and the principle of operation of centrifuge equipment is presented. The induction motor of the centrifuge rotor with the vector control in the MATLAB environment is studied, calculated parameters of the equivalent circuit by means of simulation in Simulink built static and electromechanical characteristics of their induction motor are given.

In the economy section the cost of project development is estimated. In the section «Personal and labour safety» labour protection and safety engineering are considered. Dangers and hazards when using computer technology are analysed.

Introduction

Industrial centrifuges are used to separate, extract or wash products or materials in continuous, batch, industrial or environmental operations. Centrifuges are devices that separate solids from liquids when the two are mixed together. This separation occurs using the centrifugal force generated by the rotation of the centrifuge bowl. Solids are separated from liquids using high speed gravity. Many industrial processes use centrifugation to separate liquid phases and solids from each other. For example, industrial process centrifuges are often used to extract liquids from solid material in chemical, pharmaceutical, textile, and wastewater treatment processes. Different types of centrifuge include Basket Centrifuges , Decanter Centrifuges , Peeler Centrifuges , Pusher Centrifuges , separator or Disc Bowl Centrifuges and Inverting Bag Centrifuges. Manufacturers of centrifuges include Alfa Laval, Bird, Broadbent, Heinkel, Humboldt, Ferrum, Krauss Maffei, Flottweg, Sharples, GEA Westfalia.

Centrifuge structure and work overview

Clarifying decanters are used to separate solids out of a suspension to obtain a virtually solids-free, clarified liquid. Dewatering decanters ensure maximum concentration of the solids to get them as dry as possible. Separating decanters separate two chemically immiscible liquids with simultaneous separation of the solids. Classifying decanters split the solids mixture of the suspension into a fine (small particles) and a coarse (large particles) fraction. Extraction decanters mix a liquid containing a solid or extract with a liquid agent which contains the solids or liquid after mixing. Finally, there is the possibility of integrating a co-current, counter-current or dilution washing system in the decanter for washing the suspended solids. The solid-wall bowl (5) of the clarifying decanter illustrated has a cylindrical section for efficient separation and clarification of the suspension and a conical section for efficient dewatering of the separated solids. The product is fed into the high-speed rotating bowl through feed tube (1) and is accelerated to bowl speed. The solids settle on the inner bowl wall due to the action of centrifugal force. They are scraped off the wall by a scroll armoured with hard-metal (6) which transports them to the solids discharge (2). The liquid level in the bowl and hence the lengths of the clarifying and dewatering zones can be varied to suit the feed conditions – either conventionally by means of regulating plates. With drive system, there is no need for assembly work; regulation takes place quickly and simply while the machine is still running. The clarified liquid is conveyed to the liquid discharge where it either flows off under gravity (7) or is discharged under pressure (9) by means of a centripetal pump (8). The required differential speed as well as its control requirements is to a large extent dependent on the suspension to be separated. To achieve optimum separating results, separator has a wide range of ingenious drive systems that meet all requirements and that are customized to the needs of the customer.[5]

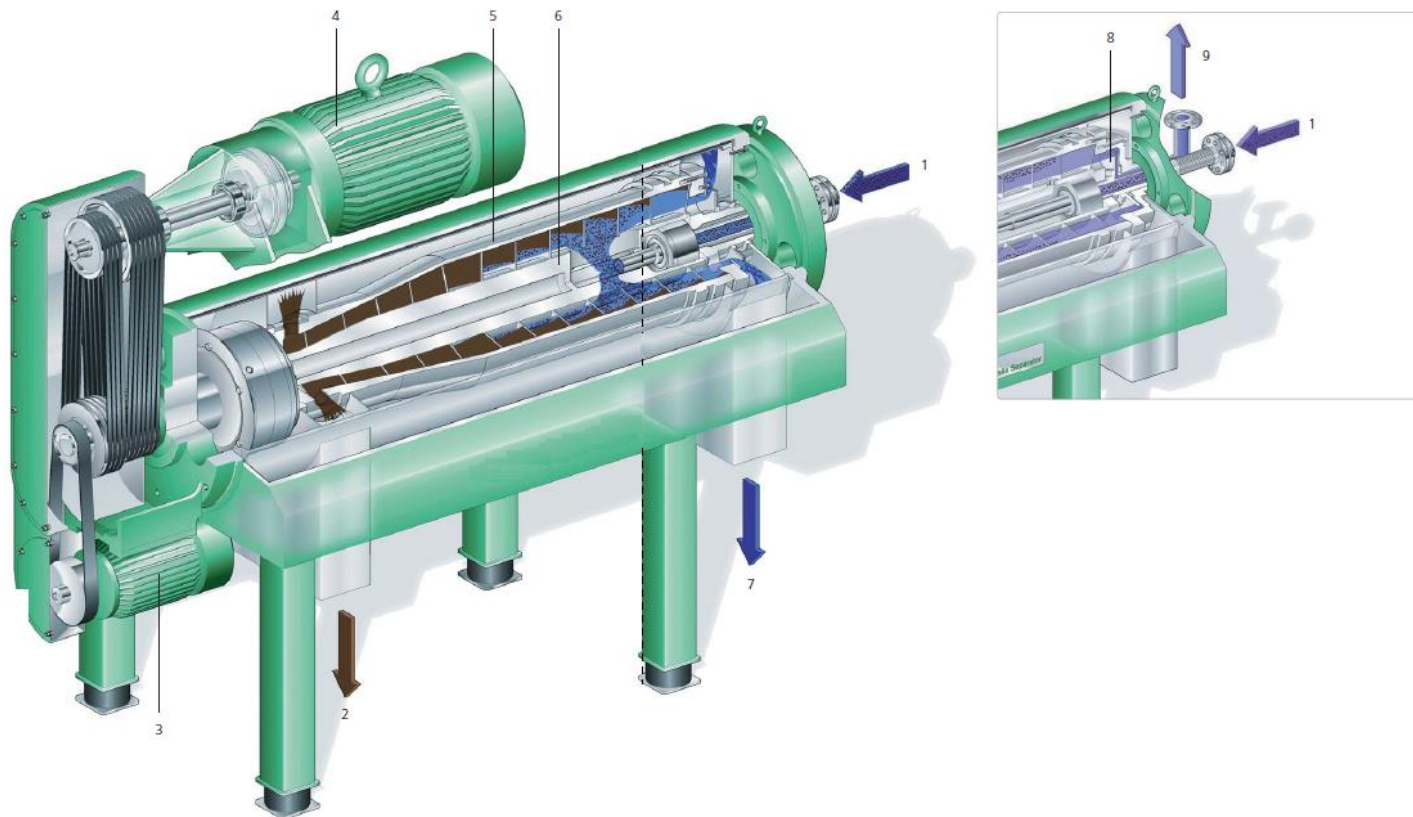


figure E 1- The main operating parts of a decanter centrifuge

2. Instrumentation and Control

The advantage of Separator Delta power T drive is the facility for regulating the scroll drive. The differential speed is adapted automatically and extremely precisely as a function of the scroll torque –and thus as a function of the solids content in the bowl. Accordingly, the solids are discharged from the bowl with a constant concentration and in an extremely dry state. Separator Delta power T drives are used whenever the volume of solids is not constant, when the solids are difficult to convey and when very high requirements are applicable with regard to the residual water content of the solids.

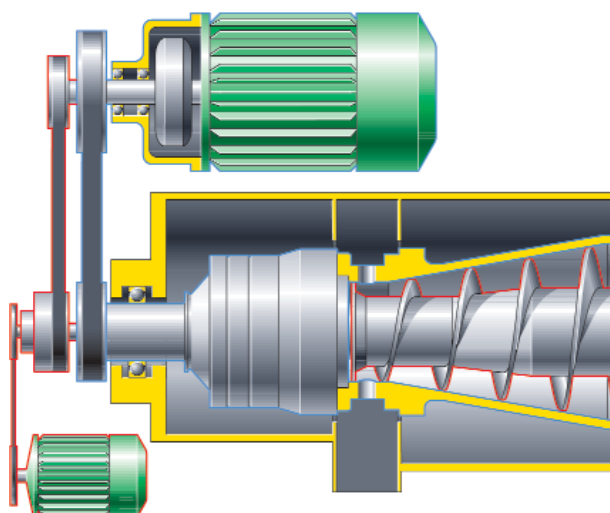
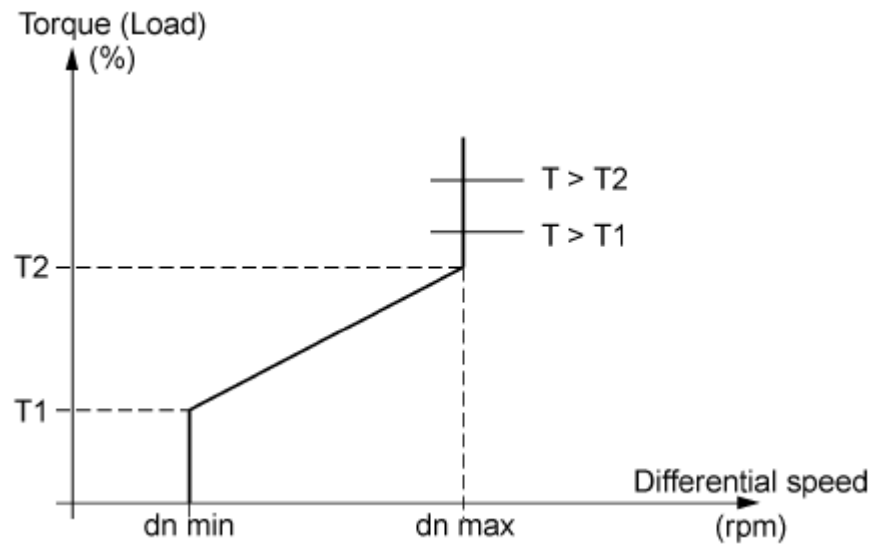


figure E 2- Delta power T drive

The control process for the conveyor drive is designed in such a way that the differential speed is defined using a procedural steady state characteristic. This steady state characteristic is defined by two points ($dn_{min}/T1$, $dn_{max}/T2$), and can be set to linear, convex, concave or digital. Thus, the differential speed is automatically adjusted to the load situation. If the load increases, the clearance effect is increased by increasing the differential speed. If an torque limit, which is adjustable, is reached, a digital output ($T > T1$) is set and thus the suspension supply is stopped. If the load increases to a further adjustable torque limit, a second digital output ($T > T2$) is set. This signal can be used for safety shutdown. Low differential speeds provide good separation and a higher degree of dryness of the separated solid content depending on the set pool depth. Procedural steady state characteristic (linear). [6]



If the differential speed defined by the steady state characteristic is too low or as a result of changes in the material composition (temperature and solid content of the suspension; quantity, type and temperature of flocculant added, etc.), the differential speed must be modified regardless of the actual load situation.

3.1. Controllers

Modern electronic technology has provided industry with a wide choice of small, user-friendly, cost-effective controllers, with proportional integral and derivative (PID) control action. These can be used individually on the input flows, or integrated into a master controller. It would not be unusual to have one each on the feed and polymer pumps. A signal from the flow meter would be supplied to the controller, which would adjust the speed of the pump to give a flow agreeing with the set point entered by the operator. The set point could be set alternatively by a master controller.

A separate controller is supplied with each polymer make-up system. When energised, it will, according to inputted set points, control the on-times of make-up water and polymer feeder. It will control the ageing time in the makeup tank, when the stirrer is switched on and when switched off. Transfer of aged polymer will only be allowed when the supply tank is below a certain level, when the transfer pump is energised, and afterwards de-energised. This is a simple but very effective system. There are some variations from manufacturer to manufacturer. The polymer is very hygroscopic and difficult to dissolve, and if not handled properly, can create an inordinate mess. One manufacturer supplies an air blower to transfer the dry powder into a cyclone wetting chamber, to minimise the onset of glue-like deposits in the lines.

The polymer control system can be augmented with a feed solids meter, to give "feed-forward" control, fixing the kg/t db polymer usage to an operator set point.

The main motor controller is a separate controller, and depends upon the type of installation and motor. The motor could be AC, DC or inverter type. Rarely, it could be a hydraulic motor. The starter could be DOL (direct-on-line), particularly if a fluid coupling is fitted, it could be a soft-start inverter system, or a DC system. With an inverter system the back-drive, also an inverter type, could be connected through the DC bus to allow power regeneration. The starter itself could be actuated

by a separate master system. Undoubtedly there will be interlocks with the starter, to cause it to de-energise with certain scenarios.

All the controllers are important, but the most important controller for the process is the one controlling the gearbox pinion shaft brake. This PLC (programmable logic computer) will be required to control the brake, either to give a set conveyor differential, or a set output torque. Whilst this duty, as specified, seems simple, the overall duty expected makes it, internally, quite complex. In certain circumstances it is required to control speeds close to zero and even to reverse speed. It is expected to be suitable for the complete range of a manufacturer's decanters, and yet expected to control each within safe limits. Moreover it needs to be appreciated that reducing output torque allows a lower differential, which increases torque! Thus to allow a higher conveyor torque, the controller effectively has to reduce its output torque. Nevertheless, excellent controls have been established on several thousands of installations.

A good brake controller will be required to indicate:

- Bowl speed;
- Conveyor differential speed;
- Brake or conveyor torque;
- Torque high/low alarm;
- Differential high/low alarm;
- Status (start-up or running);
- Mode of control (torque/differential);
- Set point.

Access is needed to the operating parameters, with an encrypted code to prevent unauthorised tampering. Only after using such an instrument can the extent of the needs for such a device be appreciated.

The operating parameters may include:

- Entry code;

- Modes permitted;
- Upper and lower alarm limits;
- Set points;
- Set point limits;
- PID settings;
- Secondary PID settings for two-stage control;
- Sense of alarms (normally on or off);
- Gearbox ratio;
- Pulses per revolution for probes;
- Pulley ratios for speed recalculations;
- Control ramp rate;
- Calibration of external signals;
- Parameters for transmission of data;
- Parameters for computer communication;
- Brake torque/current calibration reference.

This is a very brief synopsis of what could be 60 or more separate parameters.

3.2 CIP

A small PLC. or an adjunct to one of the standard controllers, is required to supervise the CIP operation. An operator giving the start command to the PLC or equivalent will initiate the CIP sequence of events. The feed will be stopped. Then the main motor and back-drive system will be de-energised, and allowed to coast down to the required CIP speed, when the main drive donkey motor will be energised and take over to rotate the bowl at such a speed as to generate slightly less than lg (about 70% of lg). The more sophisticated systems will also have a donkey motor to rotate the gearbox pinion.

Timers will control the duration of the low-speed running and other timers will open valves to admit cleaning fluid into the bowl and into the spray bars on the casing. Some systems will periodically reverse the back-drive donkey motor to reverse the conveyor differential. This feature must be used with caution, as reversing the scrolling could jam solids between the front bowl hub and the conveyor, and ultimately bend conveyor flights. The program in the PLC will dictate the duration of the CIP. the duration of each phase, and how many times the conveyor, and if necessary the bowl, are reversed. The program will also dictate when, and for how long, the cleaning fluids are applied.

The CIP feature is a valuable asset in food and pharmaceutical processing. The ability to keep the decanter clean and hygienic, without the need to dismantle it. has enabled the use of decanters in processes hitherto impossible. Decanters can be run for many months without dismantling, with acceptable standards of cleanliness.

With suitable designs of decanter, the CIP procedure can be used, where necessary, for sterilisation, instead of, or with, chemical cleaning. All the controllers are important, but the most important controller for the process is the one controlling the gearbox pinion shaft brake. This PLC (programmable logic computer) will be required to control the brake, either to give a set conveyor differential, or a set output torque.

4. VLT® AutomationDrive FC 300 features.

The VLT® AutomationDrive is a single drive concept that covers the entire range of application, which is a major benefit in commissioning, operating and maintaining the equipment.

The VLT® AutomationDrive series offer an intelligent plug-and-play technology and unmatched reliability making drive operation pure childs play.

Features and benefits

Range

0.25 - 37 kW (200 - 240 V)

0.37 - 800 kW (380 - 500 V)

0.75 - 75 KW (525 - 600V)

11 kW – 1.4 MW (525 - 690V)

Enclosures

The drive meets requirements for enclosure class IP 20/Chassis. Optional IP21/NEMA 1, IP55/NEMA 12, IP 54/NEMA12 or IP66 NEMA 4X.

Smart logic controller

The VLT® AutomationDrive features logic control functions and a sequence control based on events and actions.

Safety

The VLT® AutomationDrive comes standard with the safe stop functionality suitable for category 3 installations according to EN 954-1. This feature prevents the drive from starting unintended.

Hot pluggable LCP

The Local Control Panel (LCP) can be plugged in or out during operation. Settings are easily transferred via the control panel from one drive to another or from a PC with set-up software.

Features and benefits

Intelligent heat management

Cooling can take place in two ways to offer different sets of benefits. Forced convection cooling: A fan blows cold air through the cooling ribs of the aluminium base to remove heat. The channel is easily cleaned without touching electronics. Cold plate cooling: External cooling is possible through the back side of the aluminium base. Panel through mounting: Electronics inside cabinet - power heat sink outside cabinet. Duct cooling: Air from the control room – or from outside – cools the heat sink without contact to the electronics.

Accessories

For the VLT[®] AutomationDrive FC 302 a wide selection of accessories is available to suit your needs. For further details see Operation Instruction.

Options

Options for bus communication, synchronisation, user programs, etc., are delivered ready to plug-and-play.

Display options

Graphical Local Control Panel(LCP 102)

Numerical Local Control Panel (LCP 101)

LCP Panel Mounting Kit

Blind Cover

4.1 Drive Configurator

The Danfoss Drive Configurator is an advanced but easy-to-use tool to configure the Danfoss VLT frequency converter that exactly matches your requirements. The Drive Configurator generates the unique code number for the drive you need, preventing errors during order entry. "Decoding" is also available: Enter a Typecode and the Drive Configurator will decode the configuration and show configuration for your drive.

Using VLT drives to control electric drive systems is an easy and proven way to reduce costs for almost every application. You save money right from the start and in many cases the capital expenditure will be paid back in a short time. VLT frequency drives enable you to reduce energy costs dramatically, and further savings help reduce costs even more.

- VLT drives save up to 50% energy or more, depending on the application, merely by adjusting the speed to the actual need
- The reliability of the
- VLT drives reduces the risk of costly downtime
- VLT drives control your system smoothly, saving wear and tear, reducing maintenance and improving reliability
- VLT drives prolong the lifetime of your drive system or production line
- VLT drives are compact and therefore easy to install even in places where other drives would not fit
- VLT drives are easily mounted and commissioned, reducing the time needed and the risk of mistakes PID-controls and the build-in Smart Logic Controller often make PLC's and other controllers obsolete
- VLT drives reduce noise and improve the working environment
- VLT drives are modular; Install and pay only for the options and functions you need for your application.

In industrial low and medium voltage mains, passive filters and PFC capacitors have traditionally been used to improve the supply quality. However, they are affected by harmonic currents from other non-linear loads

or by harmonics from the power system. The VLT[®] Low Harmonic Drive can be successfully used to improve the supply voltage quality in industrial networks more effectively than passive filters and PFC capacitors.

Conclusion

A large variety of sensorless controlled AC drive schemes are used in industrial applications. Open loop control systems maintain the stator voltage-to-frequency ratio at a predetermined level to establish the desired machine flux. They are particularly robust at very low and very high speed, but satisfy only low or moderate dynamic requirements. Small load dependent speed deviations can be compensated incorporating a speed or rotor frequency estimator. High-performance vector control schemes require a flux vector estimator to identify the spatial location of the magnetic field. Field oriented control stabilizes the tendency of induction motors to oscillate at transients, which enables fast control of torque and speed. The robustness of a sensorless ac drive can be improved by adequate control structures and by parameter identification techniques. Depending on the respective method, sensorless control can be achieved over a base speed range of 1:100 to 1:150 at very good dynamic performance. It is a particular attraction of the fundamental model that runs on a simple hardware platform. Also stable and persistent operation at zero stator frequency can be achieved with these models, provided that all drive system components are precisely modelled and their parameters correctly adapted. Accurate speed estimation in the very low speed region, however it is difficult since the fundamental model becomes unobservable.

References

1. Danfoss group global. [Электронный ресурс].- Режим доступа: <http://www.danfoss.com/BusinessAreas/DrivesSolutions/Frequency+Converters/VLT+AutomationDrive+FC+300.htm>, свободный. – Загл. с экрана.
2. Records A., Sutherland K. Decanter centrifuge handbook – New York, 2001. - 491 p.
3. Holtz, J. Sutherland Ken. Sensorless control of induction motor drives – New York, 2003. - 1456 p.
4. Miller, T. Electronic Control of Switched Reluctance Machines – Oxford, 2001.- 326 p
5. Mechanical Separation GEA Westfalia Separator – Germany, 2014. Pdf – 24 p.
6. Procedural Instructions in addition to Operating Instructions 2-Gear-drive & Maindrive - Germany, 2014. Pdf – 31 p.